



TUGAS AKHIR – RE 141581

KAJIAN DAMPAK PROSES PENGOLAHAN MINYAK BUMI DI PERTAMINA RU IV BALONGAN TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

ERDHIYAN SAPUTRI
03211440000041

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KAJIAN DAMPAK PROSES PENGOLAHAN
MINYAK BUMI DI PERTAMINA RU IV
BALONGAN TERHADAP LINGKUNGAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE
CYCLE ASSESSMENT* (LCA)**

**ERDHIYAN SAPUTRI
03211440000041**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir.Rachmat Boedisantoso, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - RE 141581

**ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT ON
OIL PRODUCTION OF PERTAMINA RU IV
BALONGAN BY USING *LIFE CYCLE*
ASSESSMENT (LCA) METHOD**

ERDHIYAN SAPUTRI
03211440000041

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir.Rachmat Boedisantoso, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN DAMPAK PROSES PENGOLAHAN MINYAK BUMI DI PERTAMINA RU IV BALONGAN TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Oleh :

Erdhiyan Saputri
NRP. 03211440000041

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.
NIP. 19660116 1997031 001



KAJIAN DAMPAK PROSES PENGOLAHAN MINYAK BUMI DI PERTAMINA RU IV BALONGAN TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Nama Mahasiswa : Erdhiyan Saputri
NRP : 03211440000041
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

ABSTRAK

Kegiatan proses produksi minyak bumi pada *Refinery Unit* dimulai dari proses pengolahan minyak mentah dari eksplorasi & produksi hingga proses blending dari masing-masing produk yang menghasilkan BBM. Beberapa unit proses kegiatan menghasilkan emisi yang dapat menimbulkan dampak lingkungan. Emisi yang dihasilkan berupa emisi gas rumah kaca CO₂, CH₄, N₂O dan gas pencemar udara SO_x, NO_x, PM. Penelitian ini mengidentifikasi dampak yang dihasilkan dari emisi kegiatan industri minyak bumi menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA). Sebuah studi dilakukan untuk menganalisis jejak emisi gas rumah kaca dan pencemar udara dari pengembangan industri minyak bumi di Indonesia dimana metodologi yang digunakan adalah penakaran daur hidup. Cakupan studi ini meliputi kegiatan pengolahan minyak bumi. Data setiap siklus proses produksi dianalisa dengan software SimaPro 8.4 dengan metode EDIP 2003.

Hasil perhitungan beban emisi didapatkan pada semua proses produksi beban emisi terbesar berupa CO₂ dengan total pada masing-masing BBM sebesar 81.89 ton CO₂/produk *gasoline*, 81.169 ton CO₂/produk *gasoil*, dan 86.4 ton CO₂/produk IDF. Sedangkan hasil analisa LCA pada masing-masing proses sama. Dampak paling besar berasal dari kegiatan pada unit CDU (*Crude Destilation Unit*) khususnya pada saat memproduksi IDF sebesar 41.8% yang kedua untuk *gasoil* sebesar 31,91% lalu *gasoline* sebesar 6.36%. Kegiatan di atas berdampak besar terhadap fenomena *ozone depletion* dan *global warming*. Alternatif yang dapat digunakan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan adalah yang pertama menambahkan *preflash coloumn* atau

preflash drum pada kolom destilasi, kedua dengan dengan menggunakan bahan bakar *biodiesel* yang ketiga dengan *cogeneration* (*combined heat* dan *power*) dan yang terakhir dengan *gasifikasi*.

Kata kunci : Alternatif, Emisi, EDIP 2003, LCA, dan SimaPro

ENVIRONMENTAL *IMPACT* ASSESSMENT ON OIL PRODUCTION OF PERTAMINA RU IV BALONGAN BY USING *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)* METHOD

Nama Mahasiswa : Erdhiyan Saputri
NRP : 03211440000041
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

ABSTRACT

The activities of the petroleum production process at Refinery Units starting from the processing of crude oil from exploration & production to the blending process of each product which produce *gasoline*, *gasoil* and IDF type of fuel. Some unit process activities produce emissions which cause environmental *impacts*. Emissions generated in the form of greenhouse gas emissions such as CO₂, CH₄, N₂O and air pollutants gas such as SO_x, NO_x, PM. This study identifies *impact* of emissions resulting from the activities of the petroleum industry uses a *Life Cycle Assessment (LCA)*. A study was conducted to analyze the traces of greenhouse gas emissions and air pollutants from the development of the petroleum industry in Indonesia where the methodology used is life cycle arrest. The scope of this study includes the petroleum processing activities. Each cycle production process data is analyzed with the software SimaPro with EDIP 2003 8.4 method.

The results of load emissions calculation is obtained in all production process of the largest emission load in the form of CO₂ with total at each fuel is 81.89 ton CO₂/*gasoline* product, 81,169 tons CO₂/*gasoil* product, and 86.4 tons of CO₂/IDF product. While the results of the LCA analysis on each process is the same. The greatest *impact* comes from activities on the unit (CDU) (Crude Distillation Unit) especially when producing the IDF 41.8% , then for *gasoil* 31.91% then *gasoline* 6.36%. The above activities have a major *impact* against the phenomenon of *ozone depletion* and *global warming*. The alternative that can be used to reduce emissions is the first by using *biodiesel* fuel, secondly by adding preflash column or preflash drum in the third distillation column

with cogeneration (combined heat and power) and the last with gasification.

Keywords: alternative, emissions, EDIP 2003, LCA and SimaPro

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya laporan tugas akhir yang berjudul "*Kajian Dampak Proses Pengolahan Minyak Bumi di Pertamina RU IV Balongan Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*" dapat diselesaikan dengan baik

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir, atas kesabaran, ide – ide, dan bantuannya dalam menyelesaikan tugas akhir dan serta saran-saran yang telah diberikan,
2. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST.,MEPM., Dr. Ir. Agus Slamet,MSc., Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT dan Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil., PhD selaku dosen pengarah tugas akhir, atas saran-sarannya dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini,
3. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D selaku dosen wali, dan dosen-dosen lain, atas dorongan semangat, waktu diskusi dan saran yang telah diberikan,
4. Bapak dan Ibu yang selalu mendukung apapun kegiatan positif penulis dan kakak yang senantiasa tiada hentinya membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir,
5. PT Pertamina RU IV Balongan, yang telah membantu dalam kelancaran kelengkapan data penulis,
6. Teman – teman satu kelompok dosen pembimbing yang selalu menjadi pengingat dan penyemangat yang baik,
7. Teman – teman 2014 yang telah membantu proses tahapan penelitian ini.

Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan.

Surabaya, Juni 2018

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Manfaat.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Rumusan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Proses Produksi PT. Pertamina (PERSERO) RU VI BALONGAN.....	5
2.2 Pencemaran Udara	7
2.3 Sumber Emisi	7
2.4 Pemanasan Global	8
2.5 Gas Rumah Kaca	9
2.6 Karakteristik Emisi	10
2.7 <i>Life Cycle Assessment</i>	12
2.8 SimaPro 8.4	15
2.9 Teknologi Pengurangan Emisi CO ₂	23
2.10 Perhitungan AHP	24
2.11 Penelitian Terdahulu.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Pendahuluan	29
3.2 Kerangka Penelitian	29
3.3 Tahapan Pendahuluan.....	29
3.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian	30
3.4.1 Pengumpulan Data.....	30
3.4.2 Analisis dan Pembahasan	31
3.5 Kesimpulan dan Saran	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Profil Pertamina	37
4.2 Proses Produksi Minyak	38

4.2.1 Proses Produksi <i>Gasoline</i> (Bensin)	41
4.2.2 Proses Produksi <i>Gasoil</i> (Solar)	57
4.2.3 Proses Produksi <i>Industrial Diesel Fuel</i> (IDF).....	73
4.2.4 Proses Produksi Minyak Keseluruhan.....	88
4.3 Alternatif Kegiatan Produksi.....	90
4.4 Pemilihan Prioritas Alternatif dengan AHP.....	92
4.4.1 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur AHP.....	92
4.4.2 Hirarki Alternatif	92
4.5 Pembahasan Hasil Analisa Keseluruhan	95
BAB V KESIMPULAN & SARAN	101
5.1 Kesimpulan	101
5.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BIOGRAFI PENULIS	107
LAMPIRAN I	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 sumber dan kontribusinya terhadap GRK	10
Tabel 2. 2 Metode pada SimaPro 8.3.....	14
Tabel 2. 3 <i>Characterization Factor</i>	20
Tabel 2. 4 <i>Normalization Factor</i>	21
Tabel 2. 5 <i>Weighting Factor</i>	22
Tabel 2. 6 Daftar Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 4. 1 Kapasitas Produksi PT. PERTAMINA (Persero)	37
Tabel 4. 2 Teknologi dan fungsi yang digunakan produksi	40
Tabel 4. 3 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan	42
Tabel 4. 4 Faktor Emisi CO ₂	43
Tabel 4. 5 Faktor Emisi CO ₂	44
Tabel 4. 6 Beban Emisi yang dihasilkan Proses Produksi	45
Tabel 4. 7 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk <i>gasoline</i> ...	46
Tabel 4. 8 Kontribusi Dampak Proses Produksi <i>Gasoline</i>	50
Tabel 4. 9 <i>Characterization Factor</i>	53
Tabel 4. 10 <i>Characterization SR Naptha</i> dari CDU	54
Tabel 4. 11 <i>Normalization SR Naptha</i> dari CDU	54
Tabel 4. 12 <i>Normalization SR Naptha</i> dari CDU	55
Tabel 4. 13 <i>Weighting</i> dan <i>Single score SR Naptha</i> dari CDU ..	56
Tabel 4. 14 <i>Weighting</i> dan <i>Single Score SR Naptha</i> dari CDU ..	57
Tabel 4. 15 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan	58
Tabel 4. 16 Faktor Emisi CO ₂	59
Tabel 4. 17 Faktor Emisi CO ₂	60
Tabel 4. 18 Beban Emisi yang dihasilkan Proses Produksi	61
Tabel 4. 19 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk <i>gasoil</i>	62
Tabel 4. 20 Kontribusi Dampak Proses Produksi <i>Gasoil</i>	67
Tabel 4. 21 <i>Characterization Factor</i>	69
Tabel 4. 22 <i>Characterization gasoil</i> dari Unit GO HTU	70
Tabel 4.23 <i>Normalization gasoil</i> dari GO HTU	70
Tabel 4. 24 <i>Normalization gasoil</i> dari GO HTU	71
Tabel 4. 25 <i>Weighting</i> dan <i>Single score GO HTU</i> pada <i>gasoil</i> ...	72
Tabel 4. 26 <i>Weighting</i> dan <i>Single Score GO HTU</i> pada <i>gasoil</i> ..	73
Tabel 4. 27 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan	74
Tabel 4. 28 Faktor Emisi CO ₂	75
Tabel 4. 29 Faktor Emisi CO ₂	76

Tabel 4.30 Beban Emisi yang dihasilkan Proses Produksi	77
Tabel 4.31 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk IDF	78
Tabel 4. 32 Kontribusi Dampak Proses Produksi IDF	83
Tabel 4. 33 <i>Characterization Factor</i>	84
Tabel 4. 34 <i>Characterization</i> Atmospheric Residue dari CDU	85
Tabel 4. 35 <i>Normalization Factor</i>	85
Tabel 4. 36 <i>Normalization</i> Atmospheric Residue dari unit CDU..	86
Tabel 4. 37 <i>Weighting factor</i>	87
Tabel 4. 38 <i>Weighting</i> dan <i>Single Score</i> Atmospheric Residue..	88
Tabel 4. 39 Alternatif kegiatan produksi	90
Tabel 4. 40 Simbol dan Definisinya	93
Tabel 4. 41 Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot	94
Tabel 4. 42 Nilai bobot Setiap Kriteria dan Alternatif.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyebab terjadinya efek gas rumah kaca	7
Gambar 2.2 Penyebab terjadinya efek gas rumah kaca	10
Gambar 2.3 Tahapan LCA Penyusunan LCA	13
Gambar 2.4 Penentuan Goal	17
Gambar 2.5 Penentuan Scope	17
Gambar 2.6 Data Inventory Process pada SimaPro 8.4	18
Gambar 2.7 Prosentase Emisi disetiap 14 Impact category	20
Gambar 2.8 Hasil Penyetaraan Satuan pada Impact category ...	21
Gambar 2.9 Hasil Perkalian <i>Impact category</i> dan <i>Weighting</i>	23
Gambar 2.10 Hasil Dampak Lingkungan dari Setiap Kegiatan ...	23
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	30
Gambar 3. 2 tree diagram	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Di Indonesia, energi migas masih menjadi andalan utama perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun pemasok kebutuhan energi dalam negeri. Pembangunan prasarana dan industri yang sedang giat-giatnya dilakukan di Indonesia, membuat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir. Proses produksi minyak dan gas menghasilkan gas ikutan yang biasanya dibakar (*flared*) dan dibuang (*vented*). Kegiatan ini tidak hanya menghamburkan gas alam yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, tetapi juga berkontribusi terhadap perubahan iklim melalui emisi karbon dioksida. Sekitar 150 miliar meter kubik (bcm) gas alam dibakar dan dibuang setiap tahun di seluruh dunia, dan diperkirakan menambah sekitar 400 juta ton emisi CO₂ secara global (Menkeu, 2015).

Setara dengan penggunaan hasil produksinya yang semakin meningkat karena tidak dipungkiri lagi saat ini kendaraan bermotor menjadi salah satu kebutuhan primer di kalangan masyarakat. Perkembangan kendaraan bermotor selain mengakibatkan tingginya konsumsi bahan bakar yang bersumber dari bahan bakar fosil, juga memiliki masalah pencemaran udara yang ditimbulkan dari emisi gas buang. Mesin diesel merupakan salah satu jenis kendaraan bermotor yang memiliki keuntungan karena keandalannya, efisiensi pembakaran yang tinggi, mampu digunakan sebagai kendaraan angkut beban berat tetapi memiliki kekurangan dengan tingginya emisi gas buang yang ditimbulkan (Zhiqiang, 2011). Emisi gas buang yang ditimbulkan oleh mesin diesel diantaranya CO₂, CO, Pb, NOx, PM (Asif F, 1996). Emisi gas buang ini juga berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu perlu adanya suatu cara untuk mereduksi tingginya emisi yang ditimbulkan dari gas buang mesin diesel yaitu dengan memodifikasi mesin dan sistem pembakaran yang ada atau dengan memberikan suatu aditif bahan bakar.

Sedangkan beberapa penelitian yang dilakukan oleh Bernstein (2007), Monahan & Powell (2011) dan You et al. (2011) menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu gas rumah kaca yang sangat signifikan pengaruhnya terhadap perubahan iklim. Maka dari itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk menghindari dampak kerusakan lingkungan hidup akibat pemanasan global (*global warming*). Dalam mempertimbangkan produk minyak bumi terhadap dampak yang ditimbulkan seperti pemanasan global dan pencemaran udara, perlu dilakukan suatu kajian yang berfungsi untuk mengetahui hal yang terdapat pada proses produksi minyak bumi yang berpotensi menimbulkan gas rumah kaca. Indonesia sendiri mempunyai komitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29 % di tahun 2030 dengan usaha sendiri atau sebesar 41 % dengan bantuan internasional. Dari angka 29% tersebut, sektor energi mendapatkan porsi penurunan emisi GRK sebesar 314 juta ton CO₂. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menerapkan kegiatan di atas adalah dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA secara umum adalah suatu alat atau metode untuk menganalisis beban lingkungan di semua tahapan dalam siklus hidup dari produk dimulai dari ekstraksi sumber daya, melalui proses produksi bahan dan produk itu sendiri, dan penggunaan produk sampai produk itu dibuang dengan kata lain *cradle to grave* (Bruijn et al., 2002). Oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi dampak dari emisi GRK dan gas pencemar udara. Beberapa instrumen dan indikator dikembangkan untuk melakukan kajian terhadap dampak lingkungan yang disebabkan oleh emisi karbon dioksida. Instrumen dan indikator yang telah dikembangkan meliputi *Life Cycle Assessment* (LCA), *Strategic Environmental Assessment* (SEA), *Environment Impact Assessment* (EIA), *Environmental Risk Assessment* (ERA), *Cost Benefit Analysis* (CBA), *Material Flow Analysis* (MFA), *Ecological Footprint* dan *Carbon Footprint* (Finnveden, et. al. 2009).

Setelah mengetahui seluruh emisi yang dihasilkan pada seluruh kegiatan proses, dipilihlah satu proses yang menimbulkan emisi terbesar pada LCA. Dari kegiatan pemilihan proses ini nantinya akan dilakukan suatu alternatif pada satu proses tersebut untuk mengurangi dampak tersebut. Hal ini bertujuan untuk

mengetahui penanganan apa saja yang dapat dilakukan untuk mereduksi gas rumah kaca yang dihasilkan.

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa beban emisi yang dihasilkan dari beberapa komponen kegiatan produksi minyak bumi.
2. Mengidentifikasi dampak lingkungan yang timbul menggunakan melalui metode *life cycle assessment* (LCA).
3. Merekomendasikan alternatif apa saja yang dapat dilakukan untuk mereduksi emisi dari hasil penelitian.

1.3 Manfaat

Manfaat yang didapat dari dilakukan penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai dampak emisi yang telah dihasilkan dari setiap tahap proses produksi minyak bumi.
2. Memberikan solusi berupa alternatif-alternatif dalam mereduksi emisi berdasarkan dari hasil analisis *life cycle assessment*.
3. Sebagai bahan evaluasi perusahaan dalam menganalisa aktivitas proses produksi yang ramah lingkungan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Pengambilan data dilakukan pada PT. Pertamina RU IV Balongan.
2. Data yang digunakan berupa data primer yang berasal dari kuisioner dan data sekunder yang berasal perusahaan.
3. Proses Analisa *life cycle assessment* menggunakan program SimaPro 8.4.
4. *Life cycle impact assessment* (LCIA) adalah *global warming 100a*, *Ozone Depletion*, dan *Human toxicity (air)*.
5. Penentuan alternatif berdasarkan analisis, hasil diskusi dan saran dengan pihak perusahaan dari *Engineer II primary Process*, *Supervisor regulation Iso* dan *Proper, Proses kontrol, Environmental engineer, Officer environmental monitoring evaluation, Senior fireman*.
6. Sistem yang dikaji adalah proses produksi minyak bumi mulai dari *Crude* hingga terbentuk bermacam-macam

bahan bakar seperti Bensin, Solar, dan IDF dari unit *blending*.

7. Indikator emisi yang dianalisis yaitu karbon dioksida CO₂, CH₄ dan N₂O sebagai emisi gas rumah kaca dan SO_x, NO_x, dan PM sebagai indikator pencemar udara.

1.5 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa beban emisi yang dihasilkan pada proses produksi industri minyak bumi di Pertamina RU IV Balongan?
2. Bagaimana dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan produksi minyak bumi melalui pendekatan *life cycle assessment* (LCA)?
3. Alternatif apa yang dapat diberikan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan dari proses produksi minyak bumi?

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi PT. Pertamina (PERSERO) RU VI BALONGAN

Proses utama yang terjadi di PT Pertamina (PERSERO) RU-VI Balongan terletak pada unit CDU (*Crude Destilation Unit*) dan RCC (*Residue Catalytic Cracker*). Sumber bahan baku yang diolah di PT.Pertamina (Persero) RU VI Balongan adalah minyak mentah Duri, Riau (awalnya 80% *feed*). Minyak mentah minas, Dumai (awalnya 20% *feed*). Namun dalam perkembangan selanjutnya dengan pertimbangan optimasi yang lebih baik, jumlah perbandingan Duri : Minas menjadi 41,5 % : 58,5%. Selain itu juga dilakukan pencampuran dengan minyak JMCO (Jatibarang mixed Crude Oil), Nile Blend, Mudi (Gresik), Azeri (Malaysia), dsb dalam jumlah yang kecil karena kandungan minyak duri dan minas sudah mulai terbatas dan sifat dari minyak berikut adalah komposisi campuran *feed* pada tanggal 9 Agustus 2017 terhitung pukul 08.00 WIB.

PT Pertamina (PERSERO) RU VI balongan memproduksi Bahan Bakar Minyak (BBM) seperti *motor gasoline*, *kerosene*, *automotive diesel oil*, *industrial diesel oil*, *decant oil*, dan *fuel oil* serta non Bahan Bakar Minyak (Non BBM) seperti LPG, *propylene*, *Refinery fuel gas*, dan Sulfur dengan bahan baku minyak mentah Duri, Minas, Nile Blend, gas alam dari Jatibarang, dan air dari Salamdarma. Minyak mentah jenis *Crude* Duri, Minas, dan Nile Blend yang didatangkan oleh PT Pertamina RU VI Balongan ditampung di dalam tangki penampung *Crude*. *Crude* yang telah ditampung dialirkan sebagai *feed* untuk *Crude Destilation Unit* (CDU) dengan cara proses *blending*. Sebelum memasuki unit CDU, *feed* mengalami *treatment* terlebih dahulu pada unit *Desalter* untuk meminimalkan kandungan kadar garam. Minyak mentah yang telah mengalami *treatment* selanjutnya masuk ke unit CDU.

Pada unit CDU minyak mentah akan dipisahkan menjadi fraksi-fraksinya berdasarkan perbedaan titik didih, melalui proses destilasi secara atmosferik. Unit CDU akan menghasilkan produk atau berupa gas C_1 - C_5 , naphta, kerosin, gas oil dan produk bawah berupa residu yang disebut dengan *Atmospheric Residue* (AR).

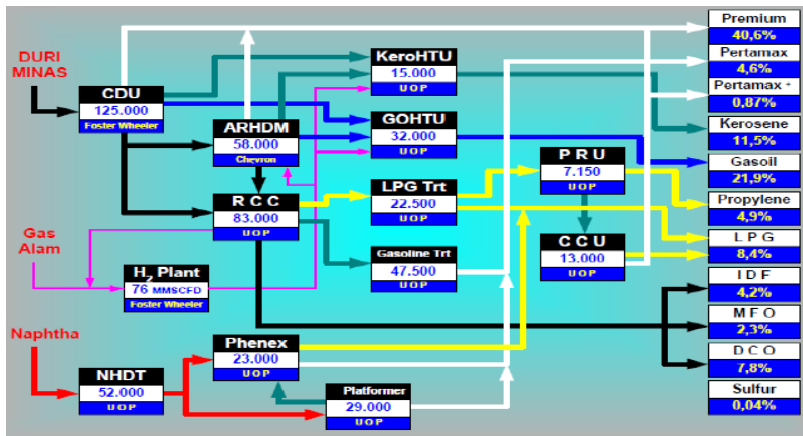
Selanjutnya residu unit CDU akan diolah lebih lanjut pada unit ARHDM dan sebagian akan langsung diumpankan pada unit RCC. Pada unit *Atmospheric Residue Hydrometallized* (ARHDM), kandungan logam dan MCR dalam AR dikurangi.

Umpa yang digunakan pada unit RCC merupakan campuran AR dan produk hasil dari ARHDM, pada umumnya digunakan perbandingan 65:35. Pada unit RCC terjadi proses *Cracking* secara termal dan *catalytic* dengan bantuan katalis. Produk yang dihasilkan oleh unit RCC adalah premium, *Liquified Petroleum Gas* (LPG), *gasoline*, *Life Cycle Oil* (LCO). Residu unit RCC adalah *Decant oil* (DCO). Produk yang diperoleh pada RCC selanjutnya akan masuk ke dalam unit-unit lain untuk dilakukan *treatment* terlebih dahulu pada unit *Gasoline Treater*.

Pada unit *Naphta Hydrotreating Unit* (NHDTU) terjadi proses pemurnian dan penghilangan campuran metal organik dan campuran olefin jenuh. Produk yang dihasilkan oleh unit NHDTU berupa *naphta* yang telah dimurnikan dari metal organik dan olefin. Produk unit NHDTU selanjutnya diolah pada unit *Platforming* dan *Phenex* yaitu meningkatkan bilangan oktan di atas 92, sedangkan pada unit *Phenex* dihasilkan *naphta* dengan bilangan oktan di atas 82.

Hydrogen Plant adalah unit yang berfungsi untuk menghasilkan hydrogen dengan tingkat kemurnian 99,9 %. Hydrogen yang dihasilkan akan digunakan sebagai media *treating* di unit *Atmospheric Residue Hydrometallized* (ARHDM), Kero HTU, dan GO HTU. Produk-produk hasil olahan minyak bumi seperti unit LCO HTU yang disebut juga kero HTU dan GO HTU bertujuan untuk menghilangkan kandungan minyak olefin, nitrogen, dan sulfur.

LPG yang berasal dari unit RCC terlebih dahulu diolah pada unit LPG Treater sebelum LPG dijual ke pasaran. Sebagian unit LPG Treater akan mengalami proses pencucian pada unit *Propylene Recovery Unit* (PRU), sehingga dihasilkan *Propylene* dengan tingkat kemurnian tinggi (minimal 99,6%).



Gambar 2. 1 Penyebab terjadinya efek gas rumah kaca

2.2 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, atau energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Pemerintah RI no 41,1999).

Prinsip pencemaran udara adalah apabila dalam udara terdapat unsur-unsur pencemar yang dapat mempengaruhi keseimbangan udara normal dan mengakibatkan gangguan terhadap kehidupan manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan dan benda-benda lain. Gas pencemar udara adalah *Sulfur dioksida* (SO_2), *Carbon monoksida* (CO), *Particulat Matter*, *Hidrocarbon* (HC), *Nitrogen Oksida* (NO_2), *Photochemical Oxidant*, Timah (Pb), Ozon dan *Volatile Organic Compounds* (VOC). Gas tersebut merupakan polutan-polutan yang bersumber dari antropogenik yang mengakibatkan gangguan pada kesehatan dan kerusakan pada lingkungan (Ali, 2007).

2.3 Sumber Emisi

Sumber pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi sumber diam dan sumber bergerak. Sumber diam terdiri dari

minyak bumi, industri dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak adalah aktifitas lalu lintas kendaraan bermotor dan transportasi laut. Dari data BPS tahun 1999, di beberapa propinsi terutama di kota-kota besar seperti Medan, Surabaya dan Jakarta, emisi kendaraan bermotor merupakan kontribusi terbesar terhadap konsentrasi NO₂ dan CO di udara yang jumlahnya lebih dari 50%.

- **Emisi industri minyak bumi**

Dalam proses pengolahan minyak bumi, emisi udara merupakan potensi yang dapat timbul. Sumber emisi yang dapat terjadi dalam proses pengolahan minyak di PT Pertamina RU VI Balongan dapat menjadi tiga sumber, yaitu:

1. Emisi dari proses pembakaran yang meliputi emisi dari mesin turbin, gas, ketel uap, pembangkit uap, pemanasan proses, dan suar bakar.
2. Emisi dari proses produksi, yaitu meliputi emisi dari unit pentawaran, unit penangkap sulfur, dan unit oksidasi termal sulfur (*incinerator sour gas*).
3. Emisi fugitive, yang meliputi emisi akibat kebocoran katup, flense, pompa, kompresor, alat pelepas tekan, kebocoran dari peralatan proses produksi dan komponen-komponennya, emisi dari tangki timbun dan instalasi pengolahan air limbah.

Dari emisi pencemaran udara yang ditimbulkan oleh setiap unit pada PT Pertamina RU VI Balongan dapat mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya maka laporan ini membahas tentang evaluasi kecenderungan kualitas udara dan ambien pada sekitar PT Pertamina RU VI Balongan.

2.4 Pemanasan Global

Pemanasan global adalah adanya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Segala sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari. Sebagian besar dari energi tersebut dalam bentuk radiasi gelombang pendek. Ketika energi ini mengenai permukaan bumi, berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Permukaan bumi akan menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya. Namun sebagian dari panas tetap terperangkap di bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca antara lain : uap air,

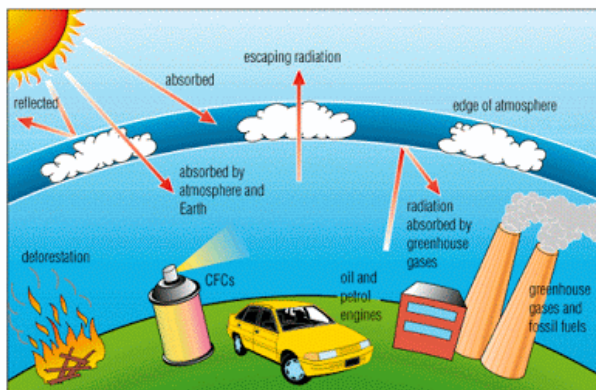
karbondioksida dan metana. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi, sehingga panas tersebut akan tersimpan pada permukaan bumi. Hal tersebut terjadi berulang-ulang sebagian besar peningkatan temperatur rata-rata global sejak pertengahan abad ke 20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia. Model iklim yang dijadikan acuan oleh proyek IPCC menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1.1 – 6.4 ° C antara tahun 1990 dan 2100. Sehingga mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat (Kusminingrum, 2008).

2.5 Gas Rumah Kaca

Istilah gas rumah kaca disampaikan para ahli dalam menggambarkan fungsi atmosfer bumi. Atmosfer bumi melewatkan cahaya matahari hingga mencapai bumi dan menghangatkan permukaan bumi sehingga memungkinkan bumi untuk ditinggali makhluk hidup. Tanpa atmosfer, bumi akan dingin. Hal ini terjadi karena adanya keberadaan gas-gas di atmosfer yang mampu menyerap dan memancarkan kembali radiasi infra merah. Gas-gas di atmosfer yang bersifat seperti rumah kaca disebut “Gas Rumah Kaca (GRK)”. Gas rumah kaca (GRK) contohnya seperti klorofluorokarbon (CFC), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃) dan uap air (H₂O). Beberapa gas tersebut memiliki efek rumah kaca lebih besar daripada gas lainnya. Dari semua jenis gas tersebut, GRK utama ialah CO₂, CH₄, dan N₂O. Dari ketiga jenis gas ini, yang paling banyak kandungannya di atmosfer ialah CO₂ sedangkan yang lainnya sangat sedikit sekali.

Tabel 2. 1 sumber dan kontribusinya terhadap GRK

Senyawa	Sumber	Kontribusi Relatif terhadap Efek Gas Rumah Kaca (dalam persen)	
		Hanks (1996)	Porteous (1992)
CO ₂	Pembakaran bahan bakar fosil, penebangan hutan	60	50
CH ₄	Sapi, dekomposisi sampah (landfill), lahan persawahan	15	20
NO _x	Industri, pupuk	5	5 (mencakup air)
CFC	AC, refrigerator, busa aerosol	12	15
O ₃	Konversi polutan otomobil oleh sinar matahari	8	10



Sumber : Jurnal Teknik Industri Pertanian
Gambar 2. 2 Penyebab terjadinya efek gas rumah kaca

2.6 Karakteristik Emisi

1. Metan

Metana adalah gas yang molekulnya tersusun dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen. Metana mudah terbakar, dan menghasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingan.

Metan merupakan gas rumah kaca yang banyak di atmosfer setelah CO_2 , dimana keberadaannya dapat tereduksi dengan adanya reaksi kimia dengan hidroksil (OH) radikal. Selain itu, gas metana memiliki potensi terhadap pemanasan global sebesar 21-23 CO_2 -*equivalent*, yang berarti setiap kg dari metana yang diemisikan ke atmosfer memiliki efek yang ekuivalen terhadap iklim bumi sebesar 21-23 kali lebih besar dari karbon dioksida selama periode waktu 100 tahun. Gas metana menyerap sebagian frekuensi dari radiasi inframerah (yang diemisikan dari permukaan bumi) yang seharusnya diteruskan ke luar angkasa (Sabljic, 2009).

2. Karbon Dioksida (CO_2)

Udara merupakan campuran beberapa gas yang perbandingannya tidak tetap. Dalam udara terdapat oksigen, karbondioksida dan ozon. Gas CO_2 dalam udara murni berjumlah 0,03%, bila melebihi toleransi dapat mengganggu pernapasan. Selain itu, gas CO_2 yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO_2 disebut juga sebagai efek rumah kaca. Pemanasan global sudah lama menjadi perbincangan, namun belum juga ada cara yang efektif untuk menghilangkannya atau setidaknya untuk mengurangnya (Ghaziyad, 2015).

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah zat pencemar udara yang paling besar. Bentuk CO dalam udara sangat stabil, mempunyai waktu tinggal 2-4 bulan. CO terbentuk akibat proses pembakaran bahan karbon yang digunakan sebagai bahan bakar secara tidak sempurna. CO merupakan gas tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Dalam lingkungan CO dapat terbentuk secara ilmiah, namun sumber utamanya adalah manusia. Pengaruh CO dalam terhadap kesehatan (Budianto, 2008). Zat gas CO ini akan mengganggu pengikatan oksigen pada darah karena CO lebih mudah terikat oleh darah dibandingkan dengan oksigen dan gas-gas lainnya. Pada kasus darah yang tercemar karbon monoksida dalam kadar 70% hingga 80% dapat menyebabkan kematian.

4. Sulfur Oksida (SO_2)

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan Sulfur trioksida (SO_3), dan kedua disebut sulfur

oksida (SO_x), Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida adalah komponen yang tidak reaktif. Pencemaran SO_x menimbulkan dampak pada manusia dan hewan, kerusakan pada tanaman terjadi pada kadar 0,5 ppm. Pengaruh utama polutan SO_x pada manusia adalah iritasi sistem pernafasan pada kadar 5 ppm (Budianto,2008).

5. Nitrogen Dioksida (NO_2)

Oksida Nitrogen adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri atas nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). NO terdapat di udara dalam jumlah lebih besar daripada NO_2 . Pembentukan NO dan NO_2 adalah reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO , yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO_2 . Komposisi nitrogen dalam udara adalah 78%. NO_2 merupakan gas yang toksik bagi manusia. Pada kadar 50-100 ppm dapat menyebabkan peradangan paru-paru untuk paparan selama satu menit (Budianto,2008).

2.7 Life Cycle Assessment

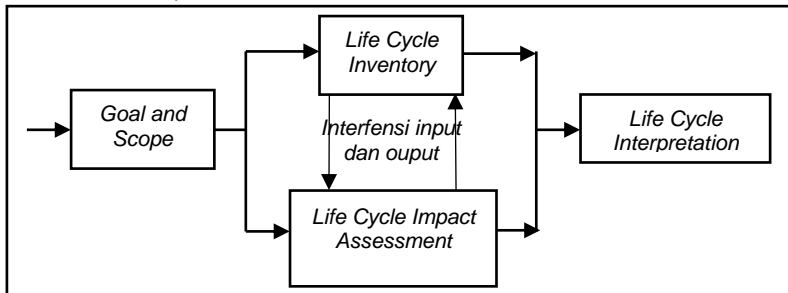
LCA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang akan dihasilkan (Hermawan, *et al*, 2013). LCA adalah pendekatan "*cradle-to grave*" untuk menilai sistem industri. "*Cradle-to-grave*" dimulai dengan pengumpulan bahan baku dari bumi untuk menciptakan produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan dikembalikan ke bumi. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari semua tahapan dalam siklus hidup produk, sehingga akan diketahui bagian mana yang menimbulkan dampak terhadap lingkungan paling besar (Bacon dalam Putri, *et al*, 2014). Esensi dari *life cycle assessment* adalah evaluasi dampak teknologi, ekonomi dan lingkungan, yang relevan dengan bahan mentah (material), proses dan/atau produk, sepanjang siklus hidup mulai dari pembuatannya hingga menjadi limbah (Soemarno, dkk., 2013).

Setelah diketahui dampak kritis dari seluruh kegiatan terhadap lingkungan maka akan diperoleh beberapa alternatif perbaikan untuk masing-masing kegiatan dalam *supply chain*. Alternatif perbaikan yang diusulkan untuk masing-masing rantai dapat digunakan sebagai dasar pembuatan alternatif untuk *life cycle* yang ada sehingga didapatkan *supply chain* yang sesuai dengan konsep *green supply chain management* (Putri, et al, 2014).

- **Tahapan LCA**

Berikut adalah penjelasan yang menitik beratkan pada siklus dari LCA, sedangkan perhitungan dari tiap tahapannya akan dijelaskan pada subbab berikutnya (Simapro 8.4).

Fase LCA sesuai dengan ISO 14040 (Marriot, 2007 dalam Santoso,2012):



Sumber : EPA, 2001

Gambar 2. 3 Tahapan LCA Penyusunan LCA

1. *Goal and Scope* bertujuan untuk merumuskan dan menggambarkan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan, dan asumsi yang berhubungan dengan dampak di sepanjang siklus hidup dari sistem yang dievaluasi. Serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA. Berikut Tabel metode yang terdapat dalam simapro 8.3:

Tabel 2. 2 Metode pada SimaPro 8.3

No	Metode	Keterangan
1	CML-IA	Pendekatan titik tengah
2	Ecplogical Scarcity 2013	Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan- emisi polutan dan konsumsi sumber daya
3	EDIP 2003	Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product
4	EPD 2013	Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramah lingkungan
5	EPS 2000	Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas yang diharapkan dari suatu produk pengembangan.
6	<i>Impact 2002+</i>	Metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan <i>midpoint/damage</i> gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup
7	ReCiPe	Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan.
8	ILCD 2011 <i>Midpoint+</i>	Penerapan metode koreksi
9	Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)	Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja
10	IPCC 2013	Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun

2. *Life cycle inventory* (LCI) mencakup pengumpulan data dan perhitungan input dan output ke lingkungan dari sistem yang sedang dievaluasi. Fase ini menginventarisasi penggunaan

sumber daya, penggunaan energi dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang dievaluasi.

3. *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* merupakan penanganan dari dampak terhadap lingkungan, semua dampak penggunaan dari sumberdaya dan emisi yang dihasilkan dikelompokkan dan dikuantifikasi kedalam jumlah tertentu kategori dampak yang kemudian diberi bobot sesuai dengan tingkat kepentingannya. Tahapan pada LCIA sendiri terdiri dari *Characterization*, *Normalization*, *Weighting*, dan *Single score* yang memiliki penjelasan yaitu (Sitepu,2011) :
 - *Characterization* merupakan tahapan dimana keseluruhan *input* dan *output* akan dinilai kontribusinya sesuai dengan kategori dampak yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah suatu profil dampak lingkungan dari sistem yang diamati.
 - *Normalization* merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai dan akan dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya *valuation* adalah untuk mendapat nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga memudahkan interpretasi selanjutnya.
 - *Weighting* merupakan metode yang memperbolehkan tahapan pembobotan *dalam impact categories*. Hal ini berarti hasil dari *impact category indicator* akan dikalikan dengan *weighting factor*, dan akan diakumulasikan sebagai *total score*.
 - *Single score* memperlihatkan tiap-tiap proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan.
4. *Interpretation* merupakan integrasi dari hasil *life-cycle inventory* dan *life-cycle impact assessment* yang kemudian digunakan untuk mengkaji, menarik kesimpulan dan rekomendasi yang konsisten dengan tujuan dan lingkup yang telah diformulasikan.

2.8 SimaPro 8.4

SimaPro merupakan salah satu software yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dampak lingkungan dari suatu sistem amatan tertentu. Data yang dimasukkan dalam software SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem

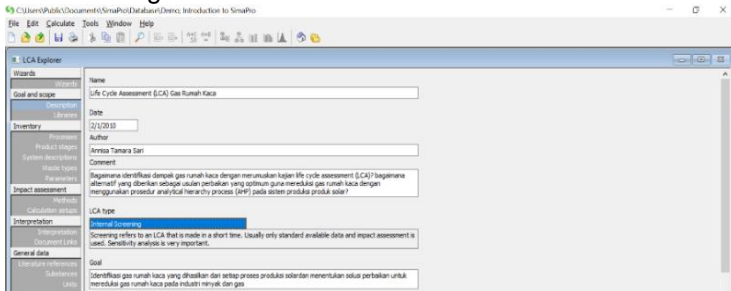
amatan yang sudah dijelaskan sebelumnya meliputi distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar, 2015). Software SimaPro yang digunakan di dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.0. Software SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki update dari databasedatabase dari standar-standar di dalam analisis ekologi, dan pada versi terbaru ini memiliki database LCA atau database eko inventori yang terbaru. Hasilnya akan mengkalkulasi inputan seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan outputan suatu nilai grafik. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan software lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

- Bersifat fleksibel
- Dapat digunakan secara *multi-user-version* sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
- Memiliki metode dampak yang beragam
- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya
- Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah AHP
- Hadir dengan 3 versi yang diklasifikasikan berdasarkan pengguna
 - SimaPro *Compact* : digunakan untuk mengatur tugas kompleks
 - SimaPro *Analyst* : digunakan untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih dengan versi institusinya adalah SimaPro PhD.
 - SimaPro *Developer* : digunakan untuk untuk pengguna yang ingin mengembangkan dedikasi LCA atau untuk pengguna yang ingin menghubungkan Simapro dengan software yang lainnya.

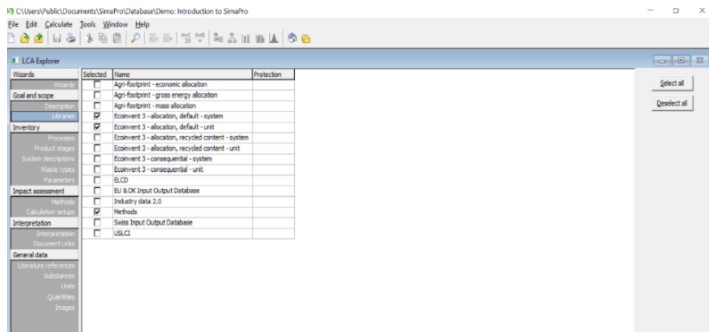
Terdapat beberapa tahapan pada SimaPro yakni:

- a) Menentukan *Goal and Scope*
 - *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA

- Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan



Gambar 2. 4 Penentuan Goal
Sumber : SimaPro 8.4Tutorial



Gambar 2. 5 Penentuan Scope
Sumber : SimaPro 8.4Tutorial

Pada tahap ini dipilih *scope* penelitian yang dipilih adalah *Industry data 2.0*. *Scope* ini dipilih dikarenakan fokus terhadap:

- Input
Input data ini berupa material dan energi yang digunakan pada kegiatan industri panas bumi
- Output
Output pada kegiatan panas bumi berupa emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara

permasalahan yang muncul dari dampak yang ditimbulkan (*problem oriented*) misalnya perubahan iklim, penipisan ozon, asidifikasi, jika pendekatan *endpoint* digunakan untuk mengetahui kerusakan apa yang nanti akan ditimbulkan (*damaged oriented*) seperti kesehatan manusia, kekayaan sumber daya, dan kualitas ekosistem. Sedangkan perpaduan keduanya digunakan dengan sistem pengkajian yang lebih mendalam. Metode yang dipilih berdasarkan keinginan peneliti dengan menghendaki hasil yang seperti apa (Menoufi, 2011). Pada EDIP 2003 akan muncul sejumlah 14 prakiraan dampak yaitu *global warming*, *ozone depletion*, *ozone formation*, *acidification*, *terrestrial eutrophication*, *aquatic eutrophication*, *EP*, *human toxicity*, *ecotoxicity*, *hazardous waste*, *slag/ashes*, *bulk waste*, *radioactive waste*, dan *resources*. Peneliti dapat membatasi prakiraan dampak sesuai dengan yang akan diteliti.

- *global warming*: membahas mengenai dampak yang dihasilkan dari peningkatan suhu permukaan bumi seperti adanya perubahan iklim. Dimana penyebab dari dampak ini akibat meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer.
- *Ozone depletion*: membahas tentang potensi menipisnya lapisan ozon di stratosfer, sehingga sebagian besar radiasi UV-B mencapai permukaan bumi. Dimana dampaknya dapat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup dan kerusakan ekosistem.
- *Human toxicity*: membahas mengenai zat beracun yang mempengaruhi di lingkungan manusia. Dimana adanya resiko kesehatan paparan di lokasi kerja.

penilaian dampak keseluruhan ini akan melewati 4 tahap sebagai berikut :

- *Characterization*, tahapan ini akan mengukur kontribusi dampak dari produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak dengan cara mengalikan tiap zat dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap lingkungan (Putri, 2017). Dalam perhitungannya faktor yang mencerminkan kontribusi relatif diwakilkan dengan *characterization factor*, yang menggambarkan kontribusi unit massa (kg) emisi terhadap lingkungan digunakan untuk mengkonversi hasil LCI agar menjadi *impact* yang dipilih oleh peneliti. *Characterization factor* dihitung menggunakan

$$\text{Category Indicator} = \sum_s \text{characterization Factor} \times \text{emission Inventory}$$

<i>Impact category</i>	<i>Unit</i>	<i>Characterization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	Person	DALYs
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	GWP 100 **)
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	ODPs***)

Characterization and

[illegible]

Gambar 2. 7 Prosentase Emisi disetiap 14 *Impact category*

- 20

masing-masing *impact category* secara internasional. Nilai faktor normalisasi biasanya dipilih untuk merepresentasikan besaran nyata atau potensial yang memiliki hubungan atau kemiripan dengan kategori dampak pada area tersebut dan pada waktu tertentu yang mengacu pada ISO 14042 . Berikut adalah rumus perhitungannya dan nilai *normalization factor* :

$$N_k = S_k / R_k$$

Dimana : k = *impact category*

N = *normalized indicator*

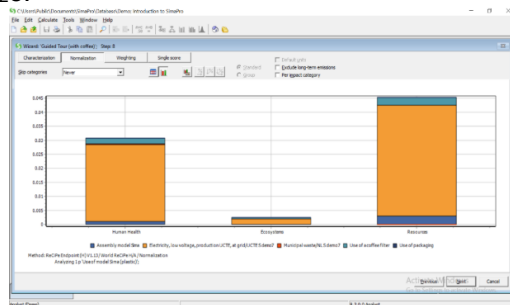
S = *category indicator from the characterization phase*

R = nilai referensi atau *normalization factor*

Tabel 2. 4 Normalization Factor

Impact category	Normalization Factor
Human toxicity air	5.88E+09
Global warming 100a	7,75
Ozone depletion	0.02

Seperti pada *impact climate change*, hasil emisi dikonversi menjadi CO₂e.



Sumber : SimaPro 8.4 tutorial

Gambar 2. 8 Hasil Penyetaraan Satuan pada *Impact category*

- *Weighting dan Single score*, merupakan dua tahapan yang dilakukan secara sekaligus karena *single score* merupakan hasil dari *weighting* yang berdasarkan proses kegiatan. Prosedur dari tahapan *single score* dan *weighting* yaitu pemberian bobot pada masing-masing kategori dampak yang dikehendaki oleh peneliti. Prosedur perhitungannya yaitu

mengkalikan *impact category indicator* dari hasil normalisasi dengan *weighting factor* dan diakumulasikan sebagai *total score* atau *single score*. Sehingga didapat satuan yang sama yaitu (kPt) yang maksudnya adalah satuan *single score*. Nilai *weighting factor* merepresentasikan tingkat kepentingan dari masing-masing kategori dampak terhadap lingkungan. Faktor ini sangat tergantung pada area geografi berdasarkan kriteria sosio ekonomi, dan berikut adalah rumus perhitungan dan nilai *weighting factormya* :

$$EI = \sum V_k \times N_k \text{ atau } EI = \sum V_k \times S_k$$

Dimana : EI = seluruh indikator dampak lingkungan

V_k = *weighting factor*

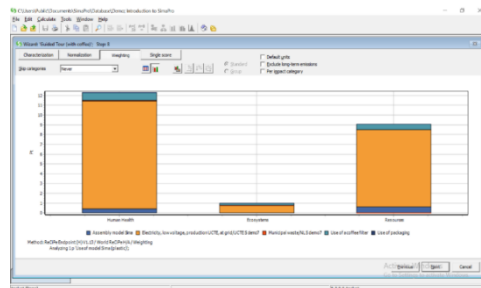
N = indikator normalisasi

S = indikator kategori dari fase *characterization*

Tabel 2. 5 *Weighting Factor*

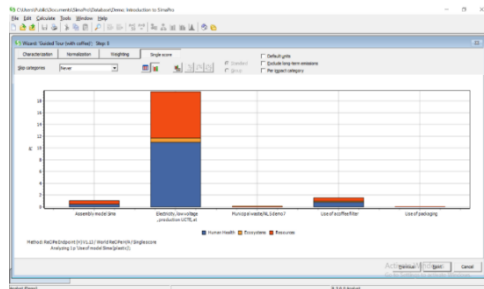
<i>Impact category</i>	unit	<i>Weighting Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	1.1
<i>Global warming 100a</i>	kPt	1,1
<i>Ozone depletion</i>	kPt	63

Proses pada gambar 2.7 dan gambar 2.8 memperlihatkan proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan.



Sumber : SimaPro 8.4Tutorial

Gambar 2.9 Hasil Perkalian *Impact category* dan *Weighting*



Sumber : SimaPro 8.4Tutorial

Gambar 2.10 Hasil Dampak Lingkungan dari Setiap Kegiatan

d) Interpretasi data

Mengevaluasi suatu kesimpulan untuk digambarkan dan bagaimana dapat dipertanggung jawabkannya.

2.9 Teknologi Pengurangan Emisi CO₂

Dalam upaya untuk mereduksi emisi yang dihasilkan dari unit-unit selama kegiatan berlangsung maka diperlukan alternatif-alternatif yang sekiranya dapat diterapkan pada industri minyak bumi. Berikut adalah alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi:

1. Menggunakan bahan bakar *biodiesel*
Mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan *biodiesel*, merupakan alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari berbagai jenis biji-bijian. Dapat mengurangi emisi carbon 120-170 kton pertahun. Ramah lingkungan, pompa dapat bekerja dengan baik dengan pembakaran yang relatif bersih, merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui, Membutuhkan biaya investasi tinggi namun maintenance panjang (Harsono, 2015)
2. Integrasi unit CDU, Vacuum, dan coker dengan generator turbin gas (heat exchanger)
dengan aliran produk didinginkan pada unit destilasi dengan penukaran panas yang maksimum sehingga terbentuk *feedstock* untuk proses selanjutnya dan dikombinasikan dengan generator turbin gas dapat menghasilkan listrik, manfaat yang didapat dari alternatif ini adalah : menghemat

penggunaan energi dan mengurangi terbentuknya emisi 22% (Plomp dan Kromp, 2010)

3. *Gasifikasi*

Memproses heavy fraction dan coke menjadi gas sintesis yang dapat digunakan kembali (pada proses kimia, dan produksi hidrogen dan pembangkit pada IGCC) sehingga dapat mereduksi CO₂ 40% dan 80% dari SO_x, NO_x, CO dan PM dapat dicapai (Bailey & Worrel, 2005)

4. Cogeneration (combined heat dan power)

Memasang generator turbin gas (GTGs) dan heat recovery steam generator (HRSG) sehingga gas buang panas dari GTGs diolah dengan HRSG kemudian uap yang dihasilkan dapat digunakan lagi dalam proses digabung dengan daya. Sehingga dapat menghemat penggunaan listrik, mengurangi pembuangan gas emisi, biaya operasi lebih rendah, menghasilkan listrik. (Worrel & Galitsky, 2005)

5. Desulfurisasi oksidatif atmospheric residue

Modifikasi pada proses ekstraksi dan oksidasi yang dilakukan beberapa tahap menggunakan multiple reaktor sehingga dapat menurunkan kadar sulfur pada minyak residue (Tetrisyanda dkk., 2017)

6. Modern control system

Mengaplikasikan advanced proses control sehingga dapat dideteksi penggunaan bahan bakar dan dapat mengontrol pembuangan bahan bakar yang berlebih agar meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi CO₂. (Australian Government, 2009)

7. Preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi

Menempatkan drum pre-flash di depan tungku destilasi atmosfer dengan waktu tinggal diperpanjang 16-20 menit untuk memisahkan gas dan cairan sebelum dipanaskan, sehingga dihasilkan light destilate (minyak sulingan yang ringan) (Ericco et al., 2009)

2.10 Perhitungan AHP

AHP adalah prosedur yang berbasis matematis yang sangat baik dan sesuai untuk kondisi evaluasi atribut-atribut kualitatif. Atribut-atribut tersebut secara matematik dikuantitatif dalam 1 set perbandingan berpasangan. Kelebihan AHP

dibandingkan yang lainnya karena adanya struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai kepada sub-sub kriteria yang paling mendetail.(Saaty, 1990). Karena menggunakan input persepsi manusia, model ini dapat mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Jadi kompleksitas permasalahan yang ada di sekitar kita dapat didekati dengan baik oleh model AHP ini.

- Prinsip Kerja Analytical Hierarchy Process (AHP)
 1. Identifikasi Faktor Penyebab
 2. Penyusunan Hirarki

Hirarki adalah abstraksi struktur suatu sistem yang mempelajari fungsi interaksi antara komponen dan juga dampak-dampaknya pada sistem. Penyusunan hirarki atau struktur keputusan dilakukan untuk menggambarkan elemen sistem atau alternatif keputusan yang teridentifikasi.

3. Penentuan Prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, dilakukan perbandingan berpasangan (pairwise comparison) yaitu membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya pada setiap tingkat hirarki secara berpasangan sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk pendapat kualitatif. Untuk mengkuantifikasikan pendapat kualitatif tersebut digunakan skala penilaian sehingga akan diperoleh nilai pendapat dalam bentuk angka (kuantitatif). Nilai-nilai perbandingan relative kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif.

4. Konsistensi

Saaty's AHP juga memberikan pertimbangan terhadap pertanyaan mengenai logika konsistensi dari evaluator. Indeks konsistensi (CI) adalah perhitungan matematis untuk setiap perbandingan berpasangan---matrik perbandingan. CI ini menyatakan deviasi konsistensi. Kemudian indeks acak (Random index/RI), sebagai hasil dari respon acak yang mutlak dibagi dengan CI dihasilkan rasio konsistensi (CRs). Semakin tinggi CRs maka semakin rendah konsistensi, demikian juga sebaliknya.

5. Bobot Prioritas

Hasil perbandingan berpasangan AHP dalam bobot prioritas yang mencerminkan relative pentingnya elemen-elemen dalam hirarki. (Makkasau, 2012)

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan metode *Life cycle assessment* (LCA) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Daftar Penelitian Terdahulu

Judul	Tahun	Isi
Analisis dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan teknologi flash steam system (a)	2014	Penelitian ini mengkaji dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit listrik tenaga panas bumi yang menggunakan teknologi <i>flash steam system</i> . Analisis dampak lingkungan dilakukan dengan menggunakan metode <i>Life cycle assessment</i> (LCA). Hasil penelitian menunjukkan ada empat dampak potensial utama yaitu perubahan iklim, penipisan sumber daya abiotik, acidification dan eutrophication, serta dampak tambahan berupa kebisingan. Fase yang menimbulkan dampak terbesar pada daur hidup INDUSTRI MINYAK BUMI adalah fase kondensasi dan pendinginan. Hasil analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa INDUSTRI MINYAK BUMI dengan teknologi yang berbeda akan menimbulkan jenis dampak yang berbeda pula
<i>Life Cycle Assessment</i> Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa (b)	2014	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan batubara dan biomassa dengan menggunakan metode <i>Life cycle assessment</i> (LCA). Pendekatan cradle to gate digunakan untuk mengevaluasi 4 skenario penggunaan bahan bakar: (1) 100% batubara, (2) campuran 90% batubara dan 10% biomassa, (3) campuran 50% batubara dan 50% biomassa, (4) 100% biomassa, dengan basis 1000 kg produk semen. Analisis perbaikan dan rekomendasi mengurangi dampak yang terjadi yaitu mengganti angkutan truck pasir silika dengan kereta api, bahan bakar biomassa menggunakan

Judul	Tahun	Isi
		<i>miscanthus giganteus</i> dan melakukan penghijauan
<i>LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) EMISI PADA PROSES PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) JENIS BENSIN DENGAN PENDEKATAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY ©</i>	2017	Penelitian ini mengidentifikasi dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi bensin menggunakan <i>Life cycle assessment</i> (LCA) yang merupakan metode untuk menganalisis dampak suatu produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Siklus hidup yang dianalisa adalah proses eksplorasi dan produksi, proses pengolahan, proses pemasaran, dan penggunaan oleh masyarakat. Alternatif terbaik guna mereduksi emisi yang terjadi pada proses eksplorasi dan produksi adalah pemanfaatan gas buang sebagai fuel pompa. Sedangkan pada proses pengolahan adalah adsorpsi dengan zeolite dan pengaplikasian gas handling system sebagai alternatif perbaikan pada proses pemasaran.
Sumber : (a)	Laili, 2014	
(b)	Harjanto dkk, 2014	
(c)	Putri, 2014	

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan selama kegiatan produksi minyak bumi. Metode yang digunakan yaitu *life cycle assessment* (LCA) dengan cara mengkaji daur hidup dari kegiatan proses produksi minyak bumi sehingga dapat diketahui emisi gas rumah kaca dan pencemar udara yang ditimbulkan. Proses pengkajian menggunakan piranti lunak SimaPro. Keluaran dari penelitian ini adalah alternatif kebijakan untuk mereduksi emisi gas rumah kaca dan pencemar udara yang dihasilkan.

3.2 Kerangka Penelitian

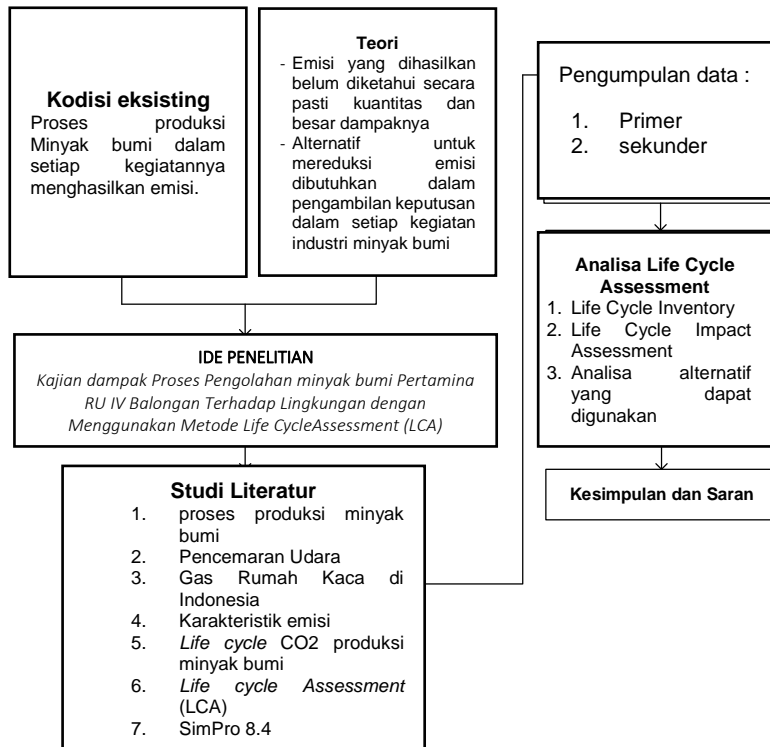
Kerangka alur penelitian disajikan pada Gambar 3.1

3.3 Tahapan Pendahuluan

Tahap pendahuluan pada penelitian ini adalah :

1. Melaksanakan studi literatur terkait:
 - proses produksi pada minyak bumi
 - pencemaran udara yang ada di bumi
 - gas rumah kaca di Indonesia
 - karakteristik emisi
 - proses produksi INDUSTRI MINYAK BUMI
 - *Life Cycle Assessment* (LCA)
 - Piranti lunak SimaPro 8.4
2. Perizinan

Perizinan dilakukan ke instansi Pertamina RU IV Balongan untuk kepentingan tugas akhir.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

3.4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan ada dua yaitu, data primer dan data sekunder.

- **Pengumpulan Data Primer**

Pengumpulan data primer dilakukan dengan menyebarkan kuisioner dan wawancara kepada responden dengan tingkat pendidikan minimal D3 dan memahami kegiatan produksi tersebut. Responden dari kuisioner terdiri dari Enviro Analyst, Jr. Officer Enviro Mon Eval, Jr. Operasional/Proses kontrol, Teknik. Responden akan memilih alternatif yang memungkinkan untuk diaplikasikan pada lokasi tersebut. Kuisioner yang disebarkan terlampir pada lampiran .

- Pengumpulan Data Sekunder
Data sekunder yang dibutuhkan untuk penelitian ini terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kebutuhan data sekunder.

No	Jenis data	Durasi data	Asal data
1	Jumlah bahan baku yang digunakan	(Januari 2016-Desember 2017)	PT. Pertamina RU IV Balongan
2	Jumlah energi yang digunakan	(Januari 2016-Desember 2017)	PT. Pertamina RU IV Balongan
3	Jumlah produk yang dihasilkan	(Januari 2016-Desember 2017)	PT. Pertamina RU IV Balongan
4	Besar emisi yang dihasilkan	(Januari 2016-Desember 2017)	PT. Pertamina RU IV Balongan

3.4.2 Analisis dan Pembahasan

A. Analisis dan pembahasan perhitungan beban emisi

Analisis data dilakukan untuk menghitung beban emisi yang dihasilkan pada kegiatan produksi. Selama proses produksi berlangsung akan menghasilkan emisi yang dapat mencemari lingkungan. Emisi tersebut berupa gas rumah kaca dan pencemar udara yang bersumber dari unit pembakaran seperti *furnace*, unit suar bakar (*flare*) yang digunakan untuk membakar gas buang yang sudah tidak digunakan dan unit fugitive. Untuk mengetahui beban emisi yang dihasilkan selama proses berlangsung maka menggunakan metode Tier 3. Metode Tier 3 adalah metode perhitungan beban berdasarkan pemakaian bahan bakar dari neraca massa/*metering* pada level fasilitas maupun level peralatan dan menggunakan faktor emisi baku. Tier 3 diterapkan jika terdapat alat pengukur.

Dalam proses perhitungannya harus mengetahui terlebih dahulu jumlah pemakaian bahan bakar serta nilai faktor emisi dari bahan bakar yang digunakan. Faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan beban emisi pembakaran dan fugitive berdasarkan API Compendium 2009. Sedangkan

metodologi yang digunakan untuk menghitung beban emisi dari unit suar bakar menggunakan Tier 1. Karena muatan yang diketahui pada *flare* hanyalah volume produksinya. Faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan beban emisi adalah faktor emisi dari OGP Report. Berikut adalah rumus perhitungan beban emisi :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : E_{CO_2} : beban emisi

FC : pemakaian bahan bakar

EF : faktor emisi carbon dari data kandungan carbon / gas komposisi (API Compendium 2009) untuk *furnace* dan publikasi dari Oil and Gas Producers (OGP) untuk faktor emisi *flare*

Data tambahan yang diperlukan selain seperti yang tercantum di atas adalah berupa nilai kalor agar didapat hasil perhitungan berupa beban emisi. Setelah perhitungan dilakukan dapat ditentukan emisi terbesar nya dan produk yang menghasilkan.

B. Analisis dan Pembahasan Analisa Dampak

Setelah mengetahui besarnya emisi yang dihasilkan lalu menganalisa proses produksinya sehingga dapat diketahui berasal dari kegiatan/ unit mana yang menyumbangkan beban emisi terbesar. Data pertama yang perlu dianalisis adalah data jumlah bahan baku, jumlah energi yang digunakan, besaran produk dan emisi yang dihasilkan. Proses penganalisan menggunakan piranti lunak bernama SimaPro 8.4. Batasan penelitian dengan menggunakan *ecoinvent unit process*. Berikut tahap-tahap proses analisis dalam SimaPro :

1. Penentuan *goal and scope* :

Menentukan tujuan yang terfokus pada dampak gas rumah kaca dan pencemar udara dari kegiatan industri minyak bumi. Data yang harus dimasukkan ke *description* terkait deskripsi proses, tujuan proses, praktisi, dan fungsi dari masing-masing unit. Aktivitas yang diteliti adalah seluruh proses produksi mulai dari pengolahan minyak mentah dari hingga menghasilkan bermacam-macam BBM.

2. Penentuan *Life cycle inventory* (LCI)

Pada tahap ini, data yang dimasukkan meliputi kesetimbangan material maupun energi yang digunakan selama

proses produksi. Data masukan dan keluaran dari Simapro terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Masukan dan keluaran pada *Life cycle inventory*

Input:	Output:
Bahan baku: minyak mentah (ton/jam)	Produk: bahan bakar minyak (ton/jam)
bahan bakar : minyak bumi (m3/jam)	
Emisi: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SO ₂ , NO ₂ , PM (ton/jam)	

3. Penentuan *Life Cycle Impact Assessment*

Setelah melakukan input data, kemudian memilih metode yang digunakan untuk memperkirakan dampak yaitu metode *Environmental Design of Industrial Product* (EDIP) 2003. Pemilihan metode ini dikarenakan sangat berkaitan dengan kegiatan yang diteliti yaitu sektor industri. Metode ini juga terfokuskan pada pemodelan karakteristik yang ditimbulkan oleh dampak yang tidak terlalu luas. Hasil dari analisis ini berupa diagram alir yang menunjukkan unit proses mana saja yang berkontribusi paling besar terhadap lingkungan dan diagram batang yang menunjukkan efek apa yang paling berdampak terhadap lingkungan. Prakiraan dampak dilakukan berdasarkan input dan output. Dampak yang akan diteliti adalah *Global warming 100a*, *ozone depletion* dan *Human toxicity*. Penilaian dampak keseluruhan ini akan dihitung sebanyak 4 tahapan , antara lain :

- ***Characterization***

Tahapan ini akan mengukur kontribusi dampak produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak dengan cara mengalikan tiap zat dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap lingkungan (Putri, 2017). Faktor kontribusi dampak diwujudkan dengan *characterization factor* yang terdapat dalam program. Misal untuk *global warming characterization factormya* adalah GWP 100 dan bentuk satuannya kg CO₂ eq.

- ***Normalization***

Tahap ini merupakan tahap dimana membandingkan hasil indikator dengan antara kategori dampak. Prosedur ini menormalkan hasil indikator dengan membagi dengan nilai

referensi dampak yang dipilih. Tahap ini menunjukkan bahwa indikator dampak telah sepadan dengan yang lain. *Normalization factor* tersedia di dalam program SimaPro.

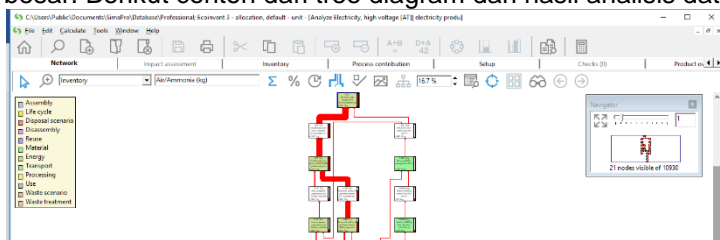
- **Weighting dan Single Core**

Merupakan dua tahapan yang dilakukan secara sekaligus karena *single score* merupakan hasil dari *weighting* yang berdasarkan proses kegiatan. Prosedur dari tahapan *single score* dan *weighting* yaitu pemberian bobot pada masing-masing kategori dampak yang dikehendaki oleh peneliti. Nilai *weighting* dan *Single score* didapat dari hasil perkalian antara *characterization factor* dengan *normalization* masing-masing *impact* sehingga didapat satuan yang sama yaitu kPt (*thousand of eco point*) satuan *single score*. Keluaran dari pembobotan ini yaitu dapat mengetahui dampak paling besar dari suatu unit kegiatan dengan nilai dampak tertentu.

4. Interpretasi Data

Tahap akhir dalam LCA adalah menghasilkan alternatif untuk perbaikan dalam tiap proses produksi. Ada beberapa alternatif yang diajukan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

Analisis dilakukan berdasarkan alternatif hasil pengolahan data pada aplikasi SimaPro 8.4. Beberapa alternatif tersebut dianalisis menggunakan *Tree Diagram* dan *Impact Assessment*. Analisis *Tree Diagram* adalah diagram dalam bentuk kotak-kotak yang mengindikasikan proses didalamnya. Pada diagram ini memperoleh hasil proses mana yang memiliki dampak lingkungan terbesar. Berikut contoh dari tree diagram dari hasil analisis data:



Gambar 3. 2 tree diagram

Kemudian, melakukan analisa *impact assessment* yang langkahnya sama dengan *impact assessment* pada LCA. Hasil analisa menghasilkan alternatif-alternatif perbaikan untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca yang terjadi. Pemilihan alternatif berdasarkan kriteria yang ramah lingkungan, cara oprasional yang mudah, dan biaya & investasi yang tidak mahal. Perbaikan dilakukan untuk meningkatkan nilai lingkungan suatu produk dari setiap proses produksi produk. Kemudian ditentukan alternatif berdasarkan hasil analisa LCA pada software SimaPro 8.4.

C. Penentuan Prioritas Alternatif

Dilakukan perbandingan berpasangan (pairwise comparison). Masing-masing perbandingan berpasangan dievaluasi dalam Saaty's scale 1 – 9 sebagai berikut:

Sangat penting	netral	Sangat penting
Elemen A 9 . 7 . 5 . 3 . 1 . 3 . 5 . 7 . 9 Elemen B		

Kemudian menganalisa prioritas elemen/program, hal ini sesuai dengan persamaan matematika yang menyebutkan jika $A:B = X$, maka $B : A = 1/X$. Contoh: jika prioritas KPI A (baris) : KPI B (kolom) = 5, maka prioritas KPI A (baris) : KPI B (kolom) = $1/5$. Lalu menentukan bobot dengan cara angka pada setiap kotak dibagi dengan penjumlahan semua angka dalam kolom yang sama. Yang terakhir mencari nilai bobot untuk masing-masing elemen dengan melakukan penjumlahan setiap nilai bobot prioritas pada setiap baris Tabel dibagi dengan jumlah elemen/program sehingga dapat ditentukan prioritasnya. Kuisioner terdiri dari 2 bagian, yakni terdiri dari pengisian penentuan kriteria terbaik dan penentuan prioritas alternatif terbaik. Seluruh pertanyaan diisi dengan cara melakukan perbandingan berpasangan untuk kriteria dan alternatif tiap kriteria. Isi dari kuisioner dapat dilihat pada Lampiran I.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan berupa beban emisi pada aktivitas produksi minyak bumi, identifikasi dampak, dan alternatif yang dapat mereduksi dampak lingkungan akibat gas rumah kaca dan penurunan kualitas udara pada proses produksinya. Saran diberikan untuk penelitian lanjutan yang membuat penelitiannya lebih berkembang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Pertamina

Sampai saat ini minyak bumi masih menjadi komoditas utama di Indonesia, baik sebagai sumber energi maupun sebagai bahan dasar produk turunan untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat. Proses pengolahan minyak bumi menjadi produk dengan nilai ekonomi tinggi merupakan tujuan utama dari perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam bidang eksplorasi sampai dengan industri petrokimia hilir. Pengelolaan sumber daya ini diatur oleh negara untuk kemakmuran rakyat seperti yang tertuang dalam UUD 1945 pasal 33 ayat 3. Hal ini ditujukan untuk menghindari praktik monopoli dan mis-eksplorasi kekayaan alam.

Dalam mencapai peranan penting ini, PT. Pertamina (PERSERO) membangun unit pengolahan minyak di berbagai wilayah di Indonesia, sampai saat ini PT. Pertamina (PERSERO) mempunyai 6 buah kilang, berikut adalah 6 kilang minyak tersebut:

Tabel 4. 1 Kapasitas Produksi PT. PERTAMINA (Persero)

No	Unit Pengolahan	Kapasitas (MBSD)
1	RU II Dumai	170.0
2	RU III Plaju	133.7
3	RU IV Cilacap	348.0
4	RU V Balikpapan	260.0
5	RU VI Balongan	125.0
6	RU VII Kasim	10.0

Kilang Balongan adalah merupakan kilang yang dirancang untuk mengolah minyak mentah jenis Duri (80%). Saat ini, *feed* yang digunakan pada kilang Balongan merupakan campuran *crude* Duri, Minas, dan *Nile Blend* dengan perbandingan 41:35:24. Daerah Balongan dipilih sebagai lokasi kilang dan proyek kilang yang dinamakan proyek EXOR I (*Export Oriented Refinery I*) dan didirikan pada tahun 1991. Pada perkembangan selanjutnya, pengoperasian kilang tersebut diubah namanya Pertamina Refinery Unit VI Balongan. *Start Up* kilang PT PERTAMINA (Persero) RU VI Balongan dilaksanakan pada bulan Oktober 1994 dan diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 24 Mei 1995.

Dengan adanya kilang minyak Balongan, kapasitas produksi kilang minyak domestik menjadi 1.074.300 BPSD. Produksi kilang minyak Balongan berjumlah kurang lebih 34 % dari bahan bakar minyak yang dipasarkan di Jakarta dan sekitarnya.



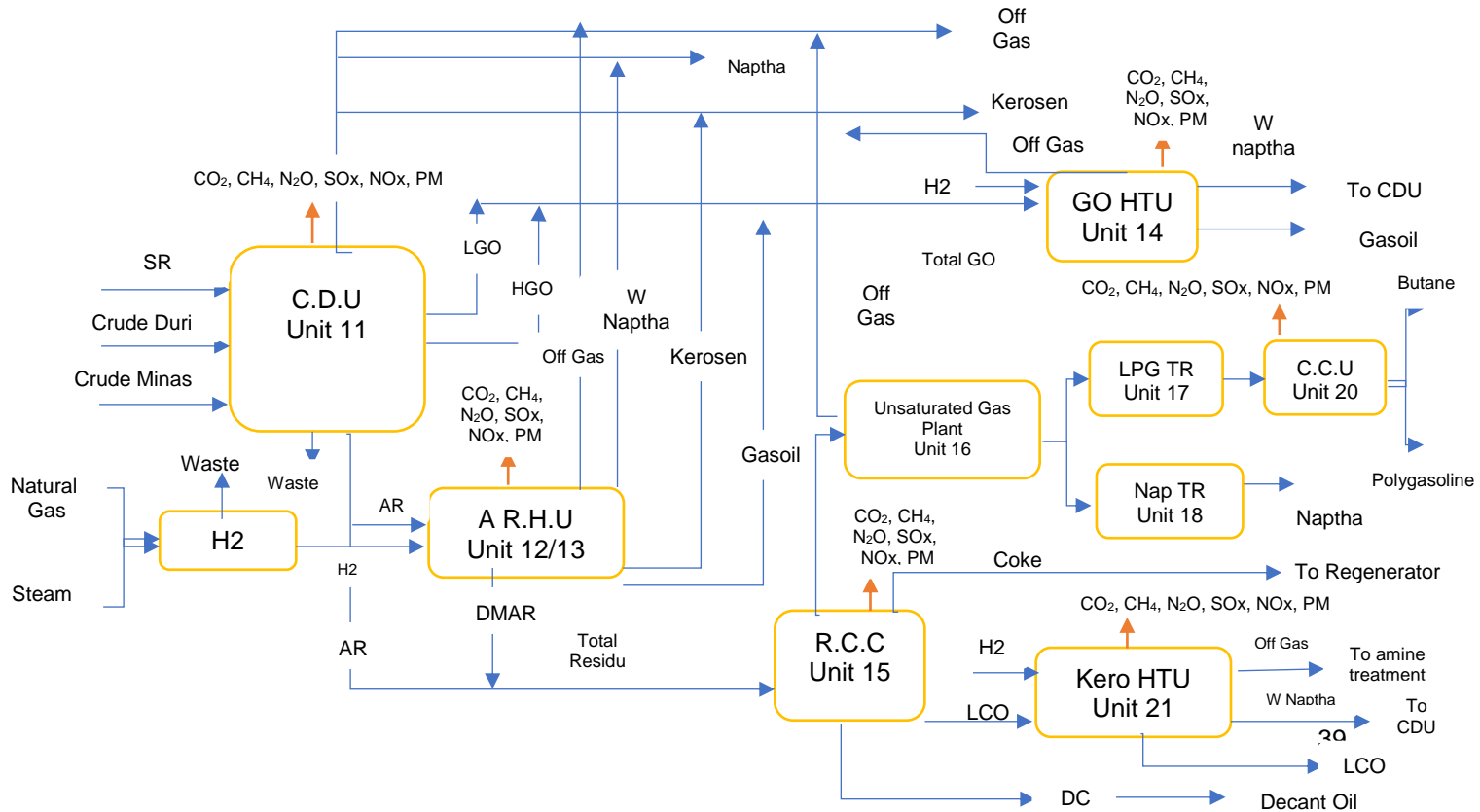
Gambar 4.1 Letak Geografis PT Pertamina RU IV Balongan
Sumber : Google Earth, 2017

4.2 Proses Produksi Minyak

Proses pengolahan *crude oil* di kilang RU VI dibagi menjadi beberapa unit kompleks untuk menghasilkan produk. Untuk diagram blok tercantum pada Gambar 4.2.

Minyak yang dihasilkan dari Proses Eksplorasi dan Produksi sebelum diolah ditampung pada tangki minyak bumi yang bertujuan agar minyak yang diakan diolah tercampur merata. Campuran minyak mentah yang ditampung berasal dari 80% crude oil Duri dan 20% crude oil Minas. Kemudian minyak yang sudah tercampur disalurkan kedalam Unit Crude Destilation Unit (CDU), merupakan primary unit yang berfungsi mengolah 125.000 barrel perhari (BPSD) minyak mentah melalui proses fisik berdasarkan perbedaan titik didih dan titik embun. Untuk memperoleh produk-produk yang dihasilkan di kilang minyak RU VI Balongan tentunya harus melalui proses pencampuran terlebih dahulu. Untuk mendukung dan menjaga keberlangsungan produksi diperlukan unit-unit penunjang lainnya seperti utilities dan juga unit-unit offsite.

Gambar 4. 2 Alur Diagram Proses Produksi Keseluruhan



Namun pada penelitian ini dibatasi pada produk olahan berupa *Gasoline*, *Gasoil*, dan *Industrial Diesel Oil*, karena ke tiga jenis olahan minyak di atas merupakan hasil produk yang paling banyak dikonsumsi dengan proses pencampuran dari bermacam-macam komponen sehingga jumlah produksinya dalam jumlah yang besar yang dapat menghasilkan emisi dalam jumlah yang besar. Untuk menghasilkan 3 produk olahan di atas digunakan bermacam-macam unit kompleks dengan masing-masing fungsi. Teknologi yang digunakan untuk mengolah minyak mentah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Teknologi dan fungsi yang digunakan produksi

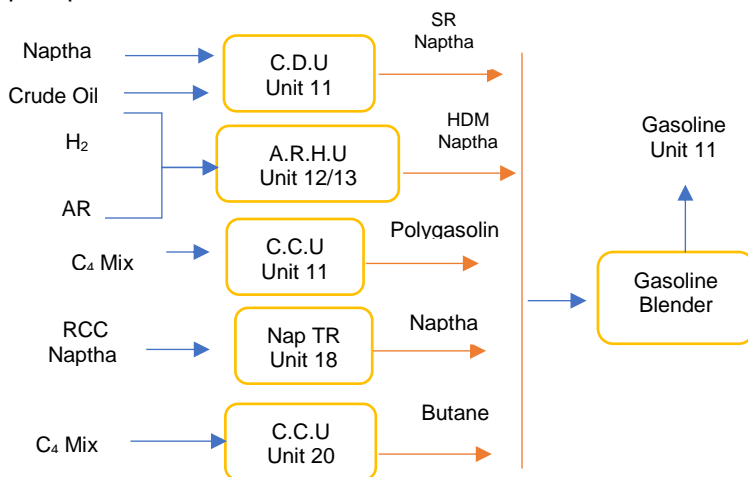
Proses	Teknologi	Fungsi
Pemisahan (Destilasi)	Crude Destilation Unit(CDU)	Pemisahan primer berdasarkan titik didih
Pemisahan	Atmospehric Residue Hyderodemetallization unit (ARHU)	Pemisahan /perengkahan ke titik didih lebih rendah dan penghilangan pengotor
Konversi	Residue Catalytic Cracker (RCC)	Perengkahan dan pembentukan / <i>reforming</i>
Pemisahan	Unsaturated Gas Plant (UGC)	Memisahkan produk puncak dari RCC
Kondensasi	Catalytic Condensation Unit (CCU)	Mengkondensasi treated mix LPG menjadi angka oktan yang tinggi
Pengolahan ulang	Naptha Treatment (Nap TR)	Mengolah ulang agar memenuhi standar kualitas
Pemurnian	LPG Treatment (LPG TR)	Memurnikan Produk dari LPG dari UGC
Pembersihan	Light Cycle Hydrotreating Unit (LCO/Kero HTU)	Menghilangkan sulfur dan nitrogen dari <i>feed</i>
Produksi	Hydrogen Plant (H2 Plant)	Memproduksi gas Hidrogen

Sumber : Pertamina, 2017

Berikut akan dijelaskan proses produksi minyak persatuan produk *Gasoline*, *Gasoil*, dan *Industri Diesel Fuel* beserta analisa LCA nya.

4.2.1 Proses Produksi Gasoline (Bensin)

Minyak mentah dari proses eksplorasi dan Produksi diolah pada unit *Crude destillation* untuk dipisahkan berdasarkan titik didih dan titik embunnya. Kemudian untuk menghasilkan BBM jenis *gasoline* atau yang biasa dikenal dengan bensin memerlukan campuran beberapa komponen seperti *straight run naptha* (SR Naptha), *hydrotretment demetalization Naptha* (HDM Naptha), *Polygasoline*, *Recovery Catalytic Cracker Naptha* (RCC Naptha), dan Butane yang masing-masing dihasilkan dari beberapa unit seperti pada alur di bawah ini:



Gambar 4. 3 Diagram *input* dan *output* Produksi Gasoline

Dari proses blending dihasilkan suatu produk *gasoline* dengan total 310 ton/jam atau 7458.24 ton/hari. Yang selanjutnya siap untuk didistribusikan kepada konsumen. Untuk jumlah bahan baku dan teknologi yang digunakan dalam memproduksi *gasoline* akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

4.2.1.1 Data Bahan Baku dan Produksi

Untuk menghasilkan produk *gasoline* dibutuhkan bahan baku dan bahan bakar dalam menjalankan prosesnya, berikut adalah data bahan baku beserta teknologi yang digunakan dalam proses pengolahannya:

Tabel 4. 3 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan

Kegiatan	Material	Unit	Produk	Jumlah Produk (ton/jam)	Bahan bakar	Jumlah bahan bakar (m3/jam)
Primary Process	Crude oil	Crude Destilation Unit (CDU)	SR Naptha	26,46	Fuel oil	125,75
					Fuel gas	8883,66
Pemisahan	Hydogen	ARHDM	HDM Naptha	3,15	Fuel gas	497,57
	Atmospheric Residue					
Kondensasi hasil dari LPG treatment	LPG treated	Catalytic Condensation Unit (CCU)	Polygasoline	29,49	-	-
Pengolahan ulang	RCC Naptha	Naptha Treatment	Treated gasoil (RCC Naptha)	232,82	-	-
Kondensasi hasil	Butane mix	Catalytic Condensation Unit (CCU)	Butane	18,84	-	-

Selanjutnya untuk masing-masing kegiatan dan jumlah bahan baku, bahan bakar serta produk dari masing-masing material di atas akan dijelaskan lebih rinci pada subbab 4.2.1.4.2 penentuan *life cycle inventory*.

4.2.1.2 Perhitungan Beban Emisi

Dilakukan perhitungan beban emisi yang terbentuk selama proses produksi berlangsung hingga dihasilkan satuan produk. Akan didapat dua hasil perhitungan emisi, secara utuh yaitu beban emisi total selama proses berlangsung pada tiap pencemar dan perhitungan jika dalam satuan produk. Berikut ini adalah contoh perhitungan beban emisi dari unit pembakaran *furnace*, *flare* dan *fugitive*.

1. Contoh perhitungan beban emisi CO₂ untuk unit pembakaran *furnace* unit ARHDM:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC : pemakaian bahan bakar

EF :faktor emisi dari data kandungan karbon/gas berdasarkan API Compendium

Tabel 4. 4 Faktor Emisi CO₂

Fuel	Carbon emission Factor from original Source Documentation			CO ₂ emission Factor, SI Units	
				Tonnes/10 ¹² J (LHV)	Tonnes/10 ¹² J (HHV)
Refinery Gas	15,7	Kg C/10 ⁹ J (LHV)	Table1.3, IPCC, 2007	57,6	51,8

Sumber : API Compendium, 2009

Diketahui pemakaian bahan bakar (*fuel gas*) pada *furnace* unit ARHDM sebesar 497,57 m³/jam atau 0,3347 ton *fuel* /jam. Berdasarkan API Compendium didapatkan faktor emisi untuk *fuel gas* sebesar 15,7 kgC/10⁹ joule (LHV) dikonversikan menjadi faktor emisi CO₂ menjadi 57,6 ton/10⁻¹², karena perhitungan faktor emisi berbasis energi maka konsumsi bahan bakar harus dikonversikan ke konsumsi energi dengan cara mengalikan dengan nilai kalornya berdasarkan API Compendium 2009. Karena nilai kalor yang menggambarkan kuantitas energi yang dilepaskan saat bahan bakar terbakar sempurna. Namun untuk bahan bakar *fuel gas* nilai kalor yang digunakan berdasarkan pengukuran lapangan sebesar 4,842 x 10¹⁰ joule/ton.

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} &= FC \times EF \\
 &= 0,3347 \text{ ton } fuel \text{ /jam} \times 57,6 \text{ ton/10}^{-12} \\
 &\quad \text{joule} \times 4,842 \times 10^{10} \text{ joule/ton} \\
 &= 0,951 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan beban emisi CO₂ untuk unit pembakaran *flare* ROPP:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC = volume gas flaring (scf)

EF = faktor emisi dari data kandungan karbon/gas yang dipublikasikan dari Oil and Gas Producers (OGP)

Tabel 4. 5 Faktor Emisi Unit Suar Bakar

emisi	Unit	Faktor emisi
CO ₂	Ton/ton	2,61
CH ₄		0,035
NO _x		0,0015
N ₂ O		0,00081
SO _x		0,0000128
VOC		0,015

Sumber : OGP Report

Sebagai contoh perhitungan adalah *flare* ROPP. Diketahui volume *gas flaring* pada *flare* ROPP adalah 386,769 ton. Faktor emisi untuk emisi gas CO₂ adalah 2,61 ton/ton. Sehingga beban emisi CO₂ untuk unit *flare* ROPP adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} &= FC \times EF \\
 &= 386,769 \text{ ton} \times 2,61 \text{ ton/ton} = 1009,469 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Jadi, beban emisi CO₂ pada unit ARHDM adalah sebesar 0,951 ton/jam, dan untuk *flare* ROPP sebesar 1009,469 ton. Untuk hasil perhitungan beban emisi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Beban Emisi dari Proses Produksi *Gasoline*

Sumber emisi	Lokasi	CO ₂ (ton/jam)	CH ₄ (ton/jam)	N ₂ O (ton/jam)	SO ₂ (ton/jam)	NO ₂ (ton/jam)	PM (ton/jam)	mmVOC (ton/jam)
Emisi pembakaran	<i>Furnace</i> unit CDU	362,943	0,014	0,003	1,093	223,728	8,994	
	<i>Furnace</i> unit ARHDM	0,951	0,000	0,000	0,039	6,572	0,499	
	<i>Flare</i> EXOR	18979,46	254,5128	0,5904	-	10,908	0,9648	
	<i>Flare</i> KLBB	3568,331	47,8512	0,1116	-	2,052	0,18	
	<i>Flare</i> ROPP	1009,469	13,536	0,0972	-	0,5796	0	
Emisi Fugitive	Fugitive DTU		0,7076					4,246

Sumber : hasil perhitungan

4.2.1.3 Emisi yang dihasilkan dalam 1 ton produk *Gasoline*

Pada proses pengolahan telah diketahui jumlah produk yang dihasilkan yaitu sebesar 165,72 ton/jam. Maka dilakukan perhitungan beban emisi dalam satuan ton/produk. Perhitungan dalam 1 ton produk dilakukan dengan cara membagi beban emisi yang terbentuk dengan total produk yang dihasilkan. Berikut perhitungan dari beban emisi proses pengolahan:

Perhitungan total emisi CO₂ per produk :

Jumlah emisi : Emisi/ Jumlah produk

: 25446,77 ton CO₂ /jam / 165,72 ton/jam

: 81,89 ton CO₂ / ton *gasoline*

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk *gasoline*

Jumlah produk (ton/jam)	Jumlah emisi yang dihasilkan (ton/jam)						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM	mmVOC
165,72	25446,8	316,7	0,8	8,6	1649,2	85,4	4,25
	Jumlah emisi yang dihasilkan per satuan produk (ton/ton)						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM	mmVOC
	81,89	1,9	0,00	0,03	5,31	0,27	0,026

Sumber : perhitungan

4.2.1.4 *Life Cycle Assessment*

Penilaian dampak Lingkungan terhadap proses produksi *gasoline* dilakukan melalui tahapan berikut ini :

4.2.1.4.1 *Penentuan Goal and Scope*

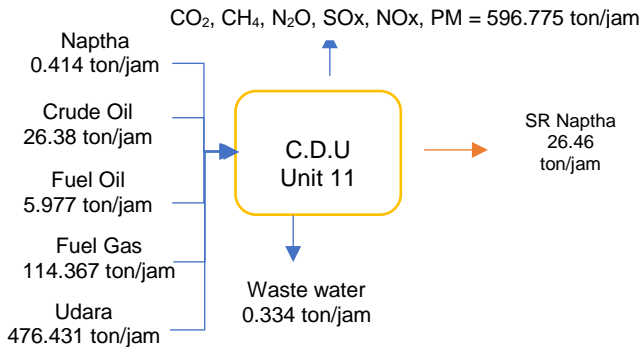
Tujuan dari penelitian ini terfokus pada dampak gas rumah kaca dan pencemar udara yang ditimbulkan selama proses produksi minyak bumi. Dimana aktifitas yang diteliti adalah proses produksi *gasoline*. Metode yang digunakan adalah EDIP 2003, dengan batasan *impact assessment* penelitian ini adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, dan *human toxicity*.

4.2.1.4.2 Penentuan *Life cycle inventory*

Dalam analisis data dibutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan massa dan spesifik data yang didapat dari perusahaan yang bersangkutan. Berikut analisisnya:

1. Crude Destilasi

Crude destilasi adalah unit pemisah fisik berdasarkan perbedaan titik didih dan titik embunnya. Tujuan adanya CDU adalah untuk memaksimalkan produk akhir dengan memproses kembali residu yang dihasilkan pada unit ARHDM

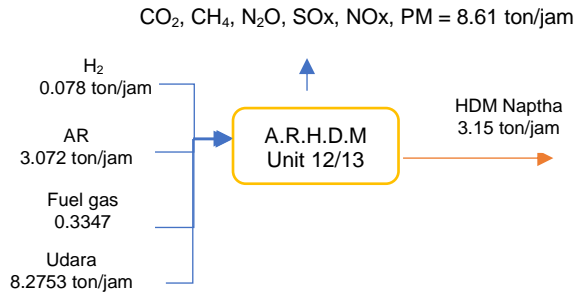


Gambar 4. 4 Material Balance Crude Distillation Unit *Gasoline*
Sumber : Pertamina, 2017

Dalam proses pemisahannya CDU akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas* dan *fuel oil*.

2. *Atmospheric Residue Hydrodemetalization* (ARHDM)

Unit yang digunakan untuk mengolah residu yang dihasilkan oleh CDU menjadi *feed* untuk diumpan ke unit RCC, selain itu juga berfungsi untuk menghilangkan pengotor seperti sulfur, nitrogen, *Micro Carbon Residue* (MCR) dan logam berat dari CDU.

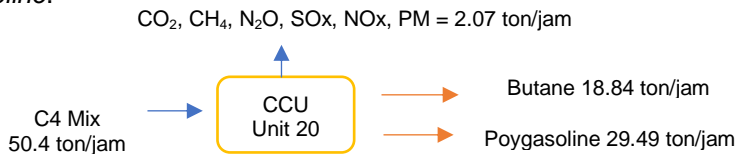


Gambar 4. 5 Material Balance ARHDM Unit *Gasoline*
Sumber: Pertamina, 2017

Dalam proses pengolahannya ARHDM akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran.

3. *Catalytic Condensation Unit*

Unit yang digunakan untuk mengolah campuran butane menjadi produk *gasoline* dengan fraksi tinggi dengan bantuan katalisator asam fosfat. *Gasoline* dengan nilai fraksi yang tinggi disebut *polygasoline*.



Gambar 4. 6 Material Balance CCU Unit *Gasoline*
Sumber: Pertamina, 2017

Pada unit ini tidak dihasilkan emisi sebanyak unit sebelumnya karena tidak dilakukan pembakaran menggunakan *furnace*.

4. *Naptha Treatment*

Unit yang biasa disebut dengan *gasoline treatment* karena berfungsi untuk mengolah ulang Naptha agar produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas komponen blending *gasoline* (premium).



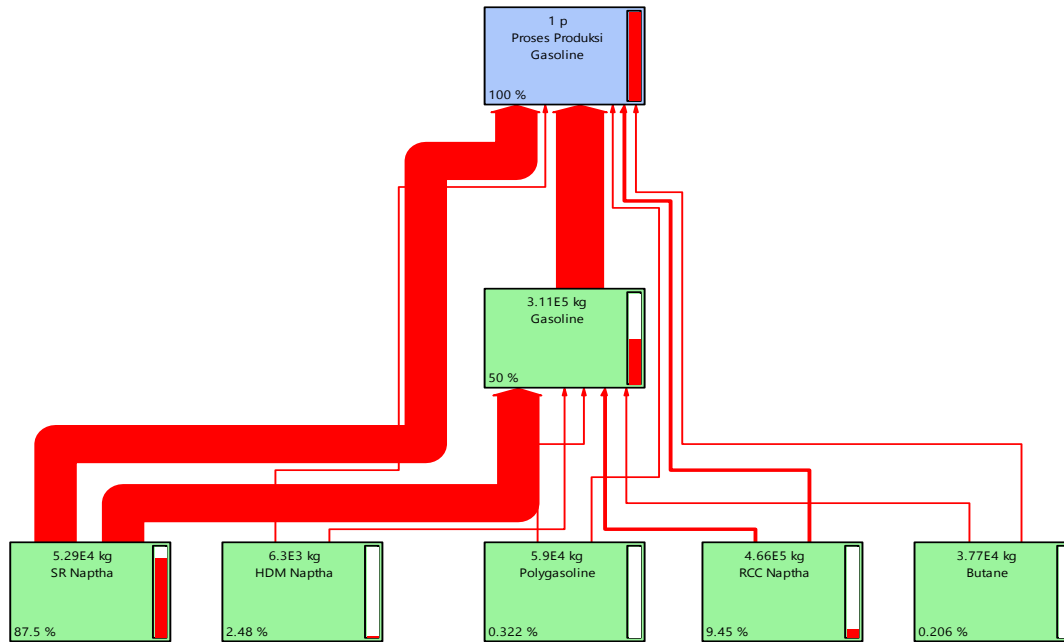
Gambar 4. 7 Material Balance Naptha TR Unit Gasoline

Sumber : Pertamina, 2017

Pada pengolahan ini jumlah yang di inputkan sama besar dengan jumlah outputnya dikarenakan produk yang dihasilkan hanya 1 dan tidak terjadi penguapan.

4.2.1.4.3 Life Cycle Impact Assessment

Prakiraan dampak berdasarkan input dan output pada setiap kegiatan. Proses Metode yang digunakan dalam proses penentuan dampak yaitu *Environmental Design of Industrial Product (EDIP) 2003*. Metode ini sangat berkaitan dengan yang akan diteliti yaitu sektor industri. Metode ini juga terfokuskan pada pemodelan karakteristik yang ditimbulkan oleh dampak yang tidak terlalu luas. Pada gambar 4.8 adalah diagram pohon (*network*) yang terbentuk dari pengolahan data input dan output yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan diagram pohon (*network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen yang terdapat di dalam kotak menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan *impact assessment* berdasarkan *database* yang telah diinputkan sebelumnya. Berdasarkan perhitungan kontribusi dampak paling besar dihasilkan dari proses blending *gasoline*. Dampak terbesar itu didapat bukan dari kegiatan proses blending itu sendiri melainkan dari pembebanan jumlah produk yang masuk. Berdasarkan *network* di atas material yang bergaris merah tebal mengarah ke *blending gasoline* berasal dari bahan baku *SR Naptha* yang berasal dari *Crude Destillation Unit*. Sehingga perlu dilakukan analisa kembali dengan membuat *network* untuk mengetahui komponen mana yang memberikan beban terbesar. Berikut gambar *network* dari produksi *gasoline* dan selanjutnya Tabel 4.8 adalah nilai kontribusi dampak pada proses produksi *gasoline*:



Gambar 4. 8 *Network Proses Produksi Gasoline*

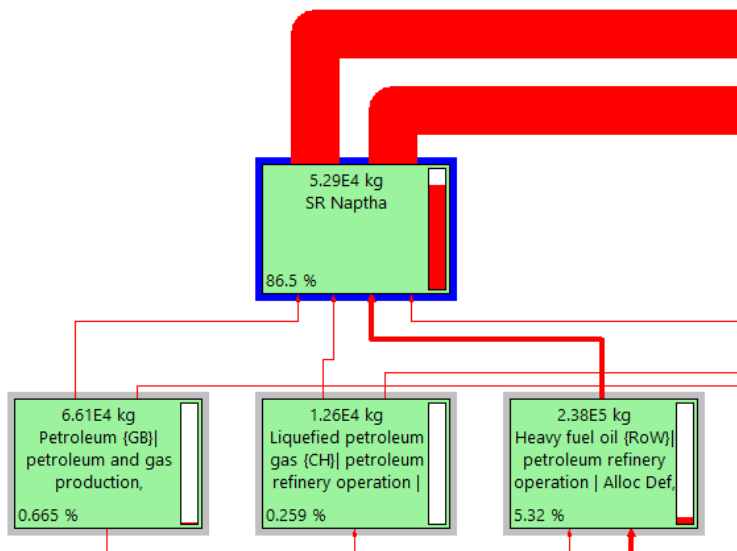
Tabel 4. 8 Nilai Kontribusi Dampak Proses Produksi *Gasoline*

<i>Impact category</i>	unit	<i>SR Naptha</i>	HDM Naptha	<i>Polygasoline</i>	RCC Naptha	Butane	<i>Gasoline</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	7,8450405 E9	19915283	1,5728652E9	1,021357E10	48996858	1,9700387E10
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	419985,72	1391,2035	20323,739	75520,299	30460,707	547681,66
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,0811863 79	0,00023700606	0,021465137	0,1407827	6,9679419E-5	0,2437409

Dari Tabel di atas dapat diketahui bahwa dampak *human toxicity* memiliki nilai paling besar.

4.2.1.4.4 Analisa Dampak Proses Pengolahan Terbesar

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa pada digram pohon proses pengolahan kontribusi dampak terbesar dari unit Crude Destilation Unit yang menghasilkan *SR Naptha*. Maka dari itu perlu dilakukan *networking* kembali aar dapat diketahui dari komponen manakah yang menyebabkan *SR Naptha* memiliki beban emisi yang paling besar. Pada gambar 4.9 menampilkan digram pohon dari unit komponen *SR Naptha*. Pada *network* tersebut diketahui bahwa kontribusi terbesar berasal dari komponen bahan berupa *Heavy Fuel oil* sebesar 5,32%. Hal tersebut bisa terjadi karena *Heavy Fuel oil* merupakan minyak bakar saat operasional yang mengandung berbagai macam pengotor yang dapat membentuk beragam emisi, dan emisi yang dihasilkan bisa jadi terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna.



Gambar 4.9 *Network SR Naptha* dari Unit Crude Destilation

Setelah dilakukan *networking* dan diketahui komponen mana yang menyebabkan beban lingkungan menjadi tinggi selanjutnya akan dilakukan penilaian terhadap dampak yang ditimbulkan dari beban lingkungan tadi melalui 4 tahapan:

a. *Characterization*

Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCI agar menjadi *impact* yang dipilih oleh peneliti. Berikut nilai *characterization factor* serta rumus yang digunakan dalam perhitungannya:

Tabel 4. 9 *Characterization Factor*

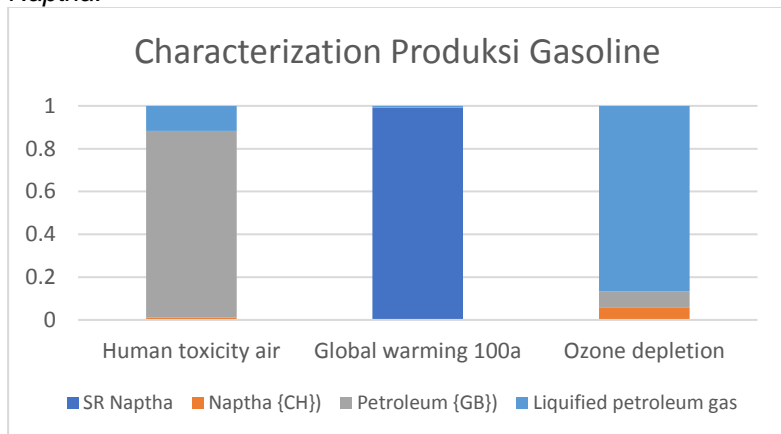
<i>Impact category</i>	Unit	<i>Characterization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	Person	DALYs
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	GWP 100
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	ODPs

Rumus perhitungan:

$$\text{Category Indicator} = \sum_s \text{characterization Factor} \times \text{emission Inventory}$$

Dari perhitungan rumus di atas akan didapatkan besaran atau nilai untuk masing-masing dampak seperti yang tercantum pada Tabel 4.10. dan dapat dibandingkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.10

Berikut kontribusi dampak masing-masing material penyusun *SR Naptha*:



Gambar 4.10 Diagram perhitungan *Characterization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 10 *Characterization SR Naptha* dari CDU

<i>Impact category</i>	unit	<i>SR Naptha</i>	<i>Naptha {CH}</i>	<i>Petroleum {GB}</i>	<i>Liquified petroleum gas</i>	<i>Heavy fuel oil {RoW}</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	1,77E7	3,63E7	3,93E9	5,29E8	1,12E10
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	7,28E5	269	1,22E3	5,3E3	1,05E5
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	-	0,000501	0,000637	0,00734	0,154

Dari Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa dampak yang paling dominan terjadi pada *human toxicity air* yang dihasilkan dari material *Heavy Fuel oil* yaitu sebesar $1,12 \times 10^{10}$ kg CO₂ eq. Namun hal tersebut belum bisa dikatakan sebagai *impact* terbesar karena tujuan dari analisa *characterization* adalah untuk melihat seberapa besar dampak dari suatu proses pengolahan terhadap kategori dampak yang ingin diteliti. Sehingga harus dilakukan penilaian pada tahap selanjutnya.

b. *Normalization*

Dalam perhitungannya digunakan *Normalization factor* untuk menyetarakan *category impact* Berikut adalah *Normalization factor* beserta rumus perhitungan yang digunakan:

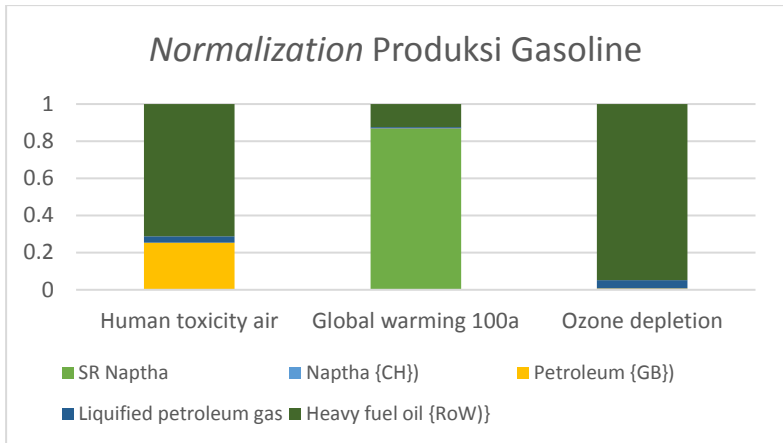
Tabel 4. 11 *Normalization SR Naptha* dari CDU

<i>Impact category</i>	Unit	<i>Normalization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	Person	5,88E+09
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	7,75
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,02

Rumus perhitungan :

$$N_k = S_k / R_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *SR Naptha* :



Gambar 4.11 Diagram perhitungan *Normalization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 12 *Normalization SR Naptha* dari CDU

Impact category	Unit	SR Naptha	Naptha {CH}	Petroleum {GB}	Liquified petroleum gas	Heavy fuel oil {RoW}
Human toxicity air	Person	0,0374	0,0766	8,28	1,12	23,6
Global warming 100a	ton CO ₂ eq	94	0,0346	0,158	0,683	13,5
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-	0,0244	0,0311	0,358	7,51

Hasil analisa dari tahap *normalization* pada unit *Crude Destilation* yang menghasilkan *SR Naptha* didapatkan nilai terbesar yang terjadi pada *human toxicity* dan *ozone depletion* berasal dari *heavy fuel oil* sedangkan *global warming 100a* berasal dari *SR Naptha*. Namun hasil di atas belum bisa dibandingkan mengingat antara komponen masih memiliki satuan yang berbeda. Agar dapat dibandingkan maka dilakukan tahap *weighting dan single score*.

c. *Weighting dan Single score*

Perhitungan *weighting score* dengan menggunakan rumus di bawah ini dan menggunakan nilai *weighting factor* akan didapat besaran dari *single score* seperti yang tertera pada Tabel 4.14.

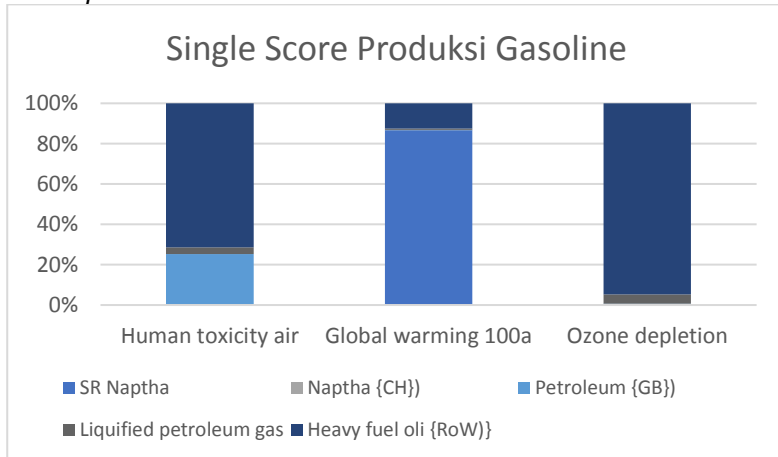
Tabel 4. 13 *Weighting dan Single score SR Naptha dari CDU*

<i>Impact category</i>	<i>unit</i>	<i>Weighting Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	1,1
<i>Global warming 100a</i>	kPt	1,1
<i>Ozone depletion</i>	kPt	63

Rumus :

$$EI = \sum V_k \times N_k \text{ atau } EI = \sum V_k \times S_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *SR Naptha*:



Gambar 4.12 Diagram Perhitungan *Weighting dan Single Score*

Gambar grafik di atas bila diubah dalam bentuk angka ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

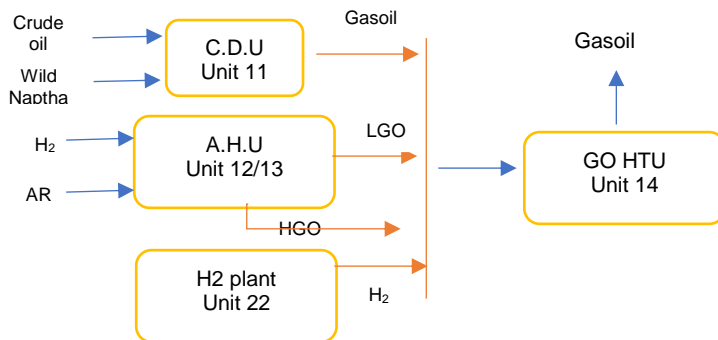
Tabel 4. 14 *Weighting dan Single Score SR Naptha* dari CDU

<i>Impact category</i>	<i>unit</i>	<i>SR Naptha</i>	<i>Naptha {CH}</i>	<i>Petroleum {GB}</i>	<i>Liquified petroleum gas</i>	<i>Heavy fuel oli {RoW}</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	4,11E-5	8,43E-5	0,0091	0,00123	0,026
<i>Global warming 100a</i>	kPt	0,103	0,0000381	0,000174	0,000752	0,0149
<i>Ozone depletion</i>	kPt	-	0,00154	0,00196	0,0226	0,473

Dari Tabel 4.14 diketahui bahwa pada komponen pembentukan *SR Naptha* memberikan pengaruh terhadap dampak *human toxicity*, *global warming 100a*, dan *ozone depletion* namun pengaruh terbesar terjadi pada dampak *ozone depletion* sebesar 0,473 kPt. Hasil yang ditunjukkan oleh tahap *weighting* dan *Single score* berbeda dari hasil sebelumnya karena pada tahap ini masing-masing dampak telah memiliki satuan yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa dampak terbesar yang berpengaruh pada proses produksi *gasoline* adalah *ozone depletion*. Dimana *ozone depletion* berasal dari *heavy fuel oil* seperti yang digambarkan pada Gambar 4.12. Dengan penerapan alternatif, kegiatan untuk mereduksi emisi dapat menurunkan emisi dari *heavy fuel oil* yang berdampak terhadap *ozone depletion*, *human toxicity*, dan *global warming 100a*.

4.2.2 Proses Produksi *Gasoil* (Solar)

Minyak mentah yang berasal dari Duri dan Minas ditampung pada unit CDU terlebih dahulu untuk selanjutnya dilakukan pemisahan. Proses pemisahan dilakukan berdasarkan titik didih dan titik embunnya. Kemudian untuk menghasilkan BBM jenis *gasoil* atau yang biasa dikenal dengan solar memerlukan campuran beberapa komponen berupa *gasoil*, *light dan heavy gas oil* (LGO & HGO) dan hidrogen yang masing-masing dihasilkan dari beberapa unit seperti pada alur di bawah ini:



Gambar 4.10 Diagram *input* dan *output* Produksi *Gasoil*

Dari proses *blending* dihasilkan suatu produk *gasoil* dengan total 165,72 ton/jam atau 3977,3 ton/hari. Yang selanjutnya siap untuk didistribusikan kepada konsumen. Untuk jumlah bahan baku dan teknologi yang digunakan dalam memproduksi *gasoil* akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

4.2.2.1 Data Bahan Baku dan Produksi

Untuk menghasilkan produk *gasoil* dibutuhkan bahan baku dan bahan bakar dalam menjalankan prosesnya, berikut adalah data bahan baku beserta teknologi yang digunakan dalam proses pengolahannya:

Tabel 4. 15 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan

Kegiatan	Material	Unit	Produk	Jumlah Produk (ton/jam)	Bahan bakar	Jumlah bahan bakar (m3/jam)
Primary process	Crude Oil	Crude Distillation Unit (CDU)	Light gas oil & heavy gas oil	134,58	Fuel oil	628,76
	Wild Naptha				Fuel gas	44418,32
Pemisahan	hydrogen	Atmospheric Residue Demetalization	Hot gasoil	32,78	Fuel gas	5411,1
	Atmospheric residue					
Pengolahan ulang	Hot gasoil	Gasoil hydritreatment (GO HTU)	Gasoil	165,72	Fuel gas	34344,71
	hydrogen					
	LGO & HGO					

Selanjutnya untuk masing-masing kegiatan dan jumlah bahan baku, bahan bakar serta produk dari masing-masing material di atas akan dijelaskan lebih rinci pada subbab 4.2.2.4.2 penentuan *life cycle inventory*.

4.2.2.2 Perhitungan Beban Emisi

Dilakukan perhitungan beban emisi yang terbentuk selama proses produksi berlangsung hingga dihasilkan satuan produk. Dari perhitungan tersebut, akan didapat dua hasil perhitungan emisi secara utuh. Perhitungan tersebut adalah beban emisi total selama proses berlangsung pada tiap pencemar dan perhitungan jika dalam satuan produk. Berikut ini adalah contoh perhitungan beban emisi dari unit pembakaran *furnace* dan *flare*.

1. Contoh perhitungan beban emisi CO₂ untuk unit pembakaran *furnace* unit ARHDM:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC : pemakaian bahan bakar

EF: faktor emisi dari data kandungan karbon/gas berdasarkan API Compendium

Tabel 4. 16 Faktor Emisi CO₂

Fuel	Carbon emission Factor from original Source Documentation			CO ₂ emission Factor, SI Units	
				Tonnes/10 ¹² J (LHV)	Tonnes/10 ¹² J (HHV)
Refinery Gas	15,7	Kg C/10 ⁹ J (LHV)	Table1.3, IPCC, 2007	57,6	51,8

Sumber : API Compendium, 2009

Diketahui pemakaian bahan bakar (*fuel gas*) pada *furnace* unit ARHDM sebesar 5411,1 m³/jam atau 3,64 ton *fuel* /jam. Berdasarkan API Compendium didapatkan faktor emisi untuk *fuel gas* sebesar 15,7 kgC/10⁹ joule (LHV) dikonversikan menjadi faktor emisi CO₂ menjadi 57,6 ton/10¹². Karena perhitungan faktor emisi berbasis energi maka konsumsi bahan bakar harus dikonversikan ke konsumsi energi dengan cara mengalikan dengan nilai kalornya berdasarkan API Compendium 2009, karena nilai kalor yang

menggambarkan kuantitas energi yang dilepaskan saat bahan bakar terbakar sempurna. Namun untuk bahan bakar *fuel gas* nilai kalor yang digunakan berdasarkan pengukuran lapangan sebesar $4,842 \times 10^{10}$ joule/ton. Sehingga:

$$\begin{aligned} E_{CO_2} &= FC \times EF \\ &= 3,64 \text{ ton fuel /jam} \times 57,6 \text{ ton}/10^{-12} \text{ joule} \times 4,842 \times 10^{10} \text{ joule/ton} \\ &= 10,339 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

2. Contoh perhitungan beban emisi CO_2 untuk unit pembakaran *flare* ROPP:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC : volume gas flaring (scf)

EF : faktor emisi dari data kandungan karbon/gas yang dipublikasikan dari Oil and Gas Producers (OGP)

Tabel 4. 17 Faktor Emisi Unit Suar Bakar

emisi	Unit	Faktor emisi
CO ₂	Ton/ton	2,61
CH ₄		0,035
NO _x		0,0015
N ₂ O		0,00081
SO _x		0,0000128
VOC		0,015

Sumber : OGP Report

Sebagai contoh perhitungan adalah *flare* ROPP. Diketahui volume *gas flaring* pada *flare* ROPP adalah 214,87 ton. Faktor emisi untuk emisi gas CO_2 adalah 2,61 ton/ton. Sehingga beban emisi CO_2 untuk unit *flare* ROPP adalah:

$$\begin{aligned} E_{CO_2} &= 214,87 \text{ ton} \times 2,61 \text{ ton/ton} \\ &= 560,816 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jadi, beban emisi CO_2 pada unit ARHDM adalah sebesar 10,339 ton/jam dan untuk *flare* ROPP sebesar 560,816 ton. Untuk hasil perhitungan beban emisi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.18:

Tabel 4. 18 Beban Emisi yang dihasilkan Proses Produksi

Sumber emisi	Lokasi	CO ₂ (ton/jam)	CH ₄ (ton/jam)	N ₂ O (ton/jam)	SO ₂ (ton/jam)	NO ₂ (ton/jam)	PM (ton/jam)	mmVOC (ton/jam)
Emisi pembakaran	<i>Furnace</i> unit ARHDM	10,33943	0,000174	0	0,428823	71,47302	5,431932	
	<i>Furnace</i> unit CDU	1814,713	0,069825	0,013825	5,463675	1118,641	44,97133	
	<i>Furnace</i> unit GO HTU	64,45525	0,000968	0	2,673616	445,5549	33,86258	
	<i>Flare</i> Exor	10544,15	141,396	0,328	0	6,06	0,536	
	<i>Flare</i> KLBB	1982,406	26,584	0,062	0	1,14	0,1	
	<i>Flare</i> ROPP	560,816	7,52	0,054	0	0,322	0	
Emisi fugitive	Fugitive CDU		3,54					21,23
	Fugitive GO HTU		27,01					162,08

Sumber : hasil perhitungan

4.2.2.3 Emisi yang dihasilkan dalam 1 ton produk *Gasoil*

Pada proses pengolahan telah diketahui jumlah produk yang dihasilkan yaitu sebesar 310,76 ton/jam. Maka dilakukan perhitungan beban emisi dalam satuan ton/produk. Perhitungan dalam 1 ton produk dilakukan dengan cara membagi beban emisi yang terbentuk dengan total produk yang dihasilkan. Berikut perhitungan dan hasil perhitungan dari beban emisi proses pengolahan:

Perhitungan total emisi per produk :

Jumlah emisi : Emisi/ Jumlah produk

: 13451,26 ton CO₂ /jam / 310,76 ton/jam

: 81,169 ton CO₂ / ton *gasoil*

Tabel 4. 19 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk *gasoil*

Jumlah produk (ton/jam)	Jumlah emisi yang dihasilkan (ton/jam)						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM	mmVOC
310,76	13451,26	206,06	0,45	1,13	237,82	10,13	183,32
	Jumlah emisi yang dihasilkan per satuan produk (ton/ton)						
	81,169	0,66	0,003	0,007	1,435	0,061	0,59

Sumber : perhitungan

4.2.2.4 Life Cycle Assessment

Penilaian dampak Lingkungan terhadap proses produksi *gasoline* dilakukan melalui tahapan berikut ini :

4.2.2.4.1 Penentuan Goal and Scope

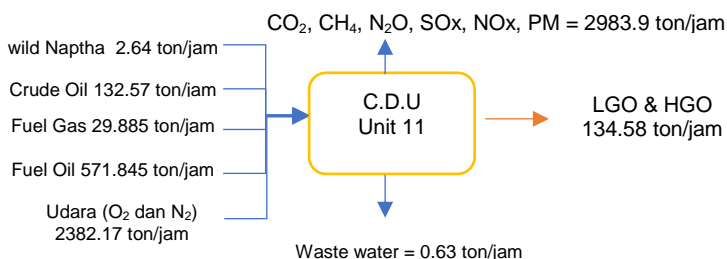
Tujuan dari penelitian ini terfokus pada dampak gas rumah kaca dan pencemar udara yang ditimbulkan selama proses produksi minyak bumi. Aktivitas yang diteliti adalah proses produksi *gasoline*, *gasoil*, dan *industrial fuel oil*. Metode yang digunakan adalah EDIP 2003, dengan batasan *impact assessment* penelitian ini adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, dan *human toxicity*.

4.2.2.4.2 Penentuan Life cycle inventory

Dalam analisis data dibutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan massa dan spesifik data yang didapatkan dari perusahaan yang bersangkutan. Data yang digunakan merupakan data satu tahun terakhir bulan Januari hingga Desember 2017.

1. Crude Destilasi

Crude destilasi adalah unit pemisah fisik berdasarkan perbedaan titik didih dan titik embunnya. Tujuan adanya CDU adalah untuk memaksimalkan produk akhir dengan memproses kembali residu yang dihasilkan pada unit ARHDM



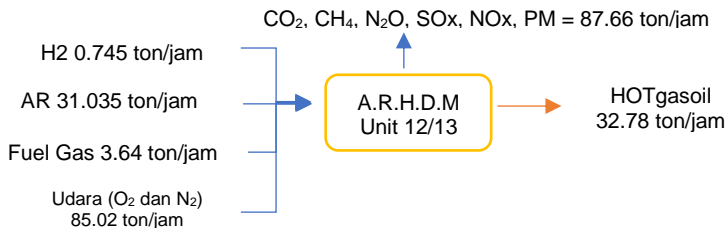
Gambar 4.11 Material Balance crude Destilation Unit Gasoil

Sumber : Pertamina, 2017

Dalam proses pemisahannya CDU akan menghasilkan emisi berupa CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas* dan *fuel oil*.

2. Atmospheric Residue Hydrodemetalization (ARHDM)

Unit yang digunakan untuk mengolah residu yang dihasilkan oleh CDU menjadi *feed* untuk diumpan ke unit RCC, selain itu juga berfungsi untuk menghilangkan pengotor seperti sulfur, nitrogen, *Micro Carbon Residue (MCR)* dan logam berat dari CDU.

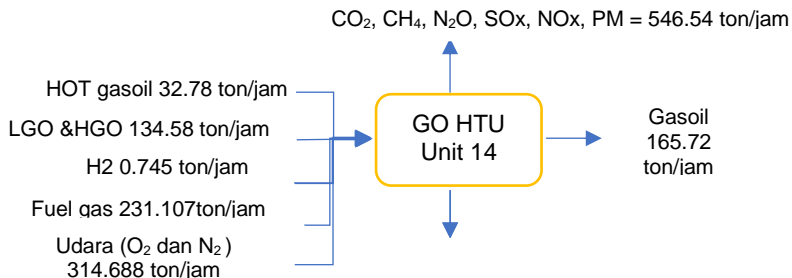


Gambar 4.12 *Material Balance ARHDM Unit Gasoil*
Sumber : Pertamina, 2017

Dalam proses pengolahannya ARHDM akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas*.

3. Gasoil Treatment

Unit yang berfungsi mengolah kembali gas oil yang tidak stabil dan korosif dari crude destilation dan atmospheric residue agar didapatkan gas oil yang memenuhi ketentuan pemasaran.

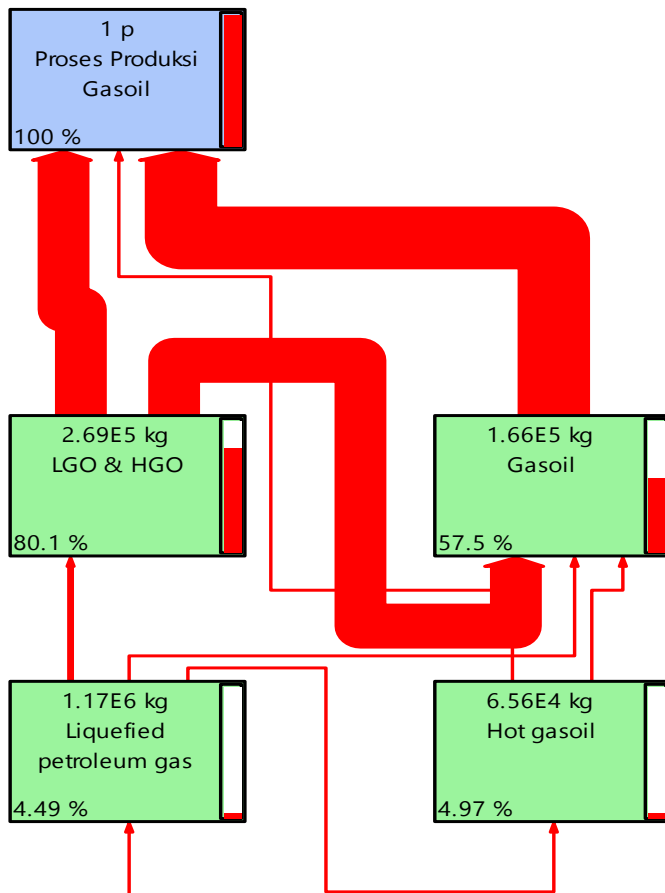


Gambar 4. 13 *Material Balance GO HTU Unit Gasoil*
Sumber : perusahaan

Dalam proses pengolahannya ARHDM akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas*.

4.2.2.4.3 Life Cycle Impact Assessment

Prakiraan dampak berdasarkan input dan output pada setiap kegiatan. Proses metode yang digunakan dalam proses penentuan dampak yaitu *Environmental Design of Industrial Product (EDIP) 2003*. Metode ini sangat berkaitan dengan yang akan diteliti yaitu sektor industri. Metode ini juga terfokuskan pada pemodelan karakteristik yang ditimbulkan oleh dampak yang tidak terlalu luas. Penilaian pada *impact assessment* terdiri dari 4 tahapan yaitu: *Characterization, Normalization, Weighting* dan *Single Score*. Cakupan dampak yang akan diteliti yaitu *Global warming 100a, Ozone Depletion, dan Human toxicity air*, karena berdasarkan emisi yang dihasilkan diperkirakan kemungkinan besar memberikan kontribusi terbesar pada tiga dampak di atas. Pada gambar 4.14 adalah diagram pohon (*network*) yang terbentuk dari pengolahan data input dan output yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan diagram pohon (*network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen yang terdapat di dalam kotak menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan *impact assessment*. Beban emisi yang dihasilkan berdasarkan database yang telah diinputkan sebelumnya. Berikut analisa kontribusi dampak pada proses produksi *gasoline*:



Gambar 4. 14 diagram pohon (*network*) produksi *gasoil*

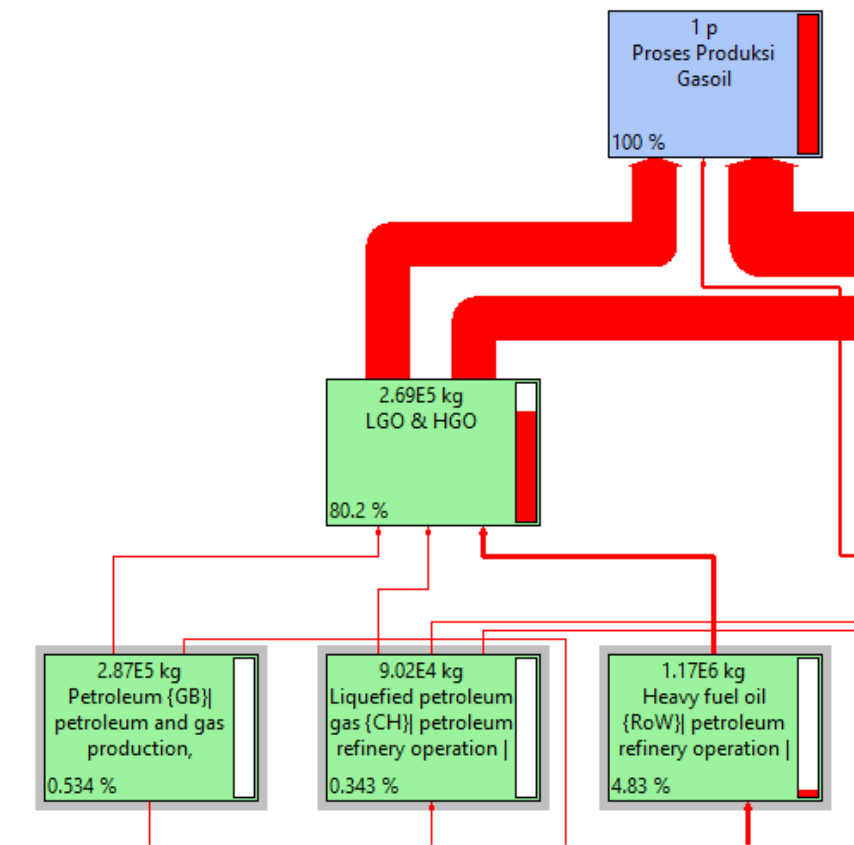
Tabel 4. 20 Kontribusi Dampak Proses Produksi *Gasoil*

<i>Impact category</i>	unit	HOT <i>gasoil</i>	LGO &HGO	<i>Gasoil</i>
<i>Human toxicity air</i>	Person	2,17E8	3,67E10	3,8E10
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	1,51E4	2,09E6	2,18E6
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,00258	0,374	0,391

Dari Tabel di atas dapat diketahui bahwa komponen *Gasoil* memberikan kontribusi dampak pada *human toxicity* sebesar $3,8 \times 10^{10}$ person, *global warming 100a* sebesar $2,18 \times 10^6$ kg CO₂ eq, dan *ozone depletion* sebesar 0,391 kg CFC11 eq. Maka dari itu perlu dilakukan peninjauan lebih dalam tentang komponen *gasoil* yang akan dibahas pada subab selanjutnya.

4.2.2.4.4 Analisa Dampak Proses Pengolahan Terbesar

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa pada digram pohon (*network*) proses pengolahan kontribusi dampak terbesar dari unit GO HTU yang menghasilkan *gasoil*. Pada *network* tersebut diketahui bahwa garis merah yang paling tebal berasal dari *gasoil*. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada GO HTU terjadi proses blending dan penstabilan dari komponen sebelumnya sehingga beban jadi terkumpul pada unit GO HTU. Kontribusi komponen beban terbesar berasal dari bahan *LGO&HGO* sebesar 80,1%. jika dilihat kebawah lagi menunjukkan bahwa yang menyumbang beban terbesar pada LGO & HGO berasal dari material heavy *fuel oil* sebagai bahan bakar selama proses produksinya. Hal tersebut bisa terjadi karena bahan bakar yang digunakan memiliki kualitas yang kurang baik masih mengandung pengotor organik, dan dapat disebabkan juga karena dalam proses pembakarannya yang tidak sempurna. Berikut tampilan gambar digram pohon dari unit komponen:



Gambar 4. 15 *Network Gasoil* dari Unit GO HTU

Setelah dilakukan *networking* dan diketahui komponen mana yang menyebabkan beban emisi menjadi tinggi selanjutnya akan dilakukan penilaian terhadap dampak sebanyak 4 kali:

a. *Characterization*

Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCI agar menjadi *impact* yang dipilih oleh peneliti. Berikut nilai *characterization factor* serta rumus yang digunakan dalam perhitungannya:

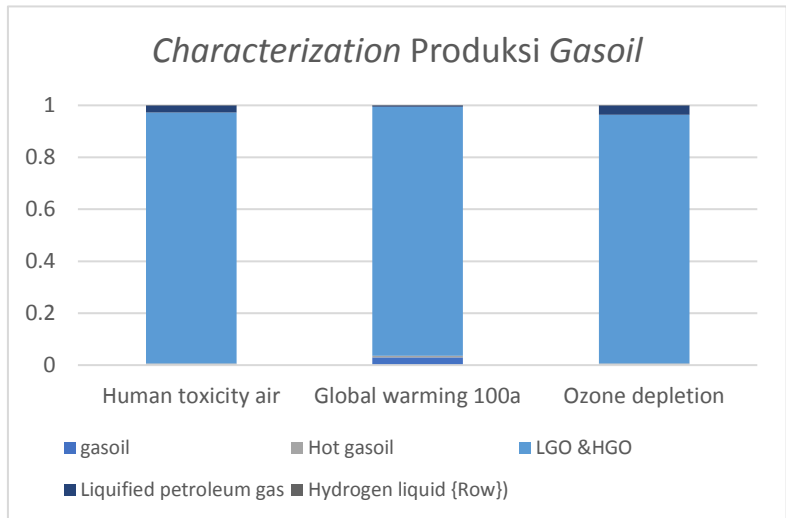
Tabel 4. 21 *Characterization Factor*

<i>Impact category</i>	Unit	<i>Characterization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	DALYs
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	GWP 100
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	ODPs

Rumus perhitungan:

$$\text{Category Indicator} = \sum_s \text{characterization Factor} \times \text{emission Inventory}$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *gasoil*:



Gambar 4. 16 diagram batang *characterization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 22 *Characterization gasoil* dari Unit GO HTU

<i>Impact category</i>	unit	<i>gasoil</i>	<i>Hot gasoil</i>	LGO &HGO	<i>Liquified petroleum gas</i>	<i>Hydrogen liquid {Row})</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	2,08E7	2,17E8	3,67E10	1,02E9	1,76E6
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	6,45E4	1,51E4	2,09E6	1,02E4	1,26E3
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	-	0,00258	0,374	0,0142	2,8E-7

Dari Tabel didapat bahwa nilai dampak paling besar yaitu berupa *human toxicity air* yang dihasilkan dari material LGO dan HGO sebesar $3,67 \times 10^{10}$ person. Namun hal tersebut belum bisa dikatakan hasil terbesar mengingat tujuan dari *characterization* untuk melihat seberapa besar dampak dari suatu proses pengolahan terhadap kategori dampak yang ingin diteliti.

b. Normalization

Dalam perhitungannya digunakan *Normalization factor* untuk menyetarakan *category impact*. Berikut adalah *Normalization factor* beserta rumus perhitungan yang digunakan:

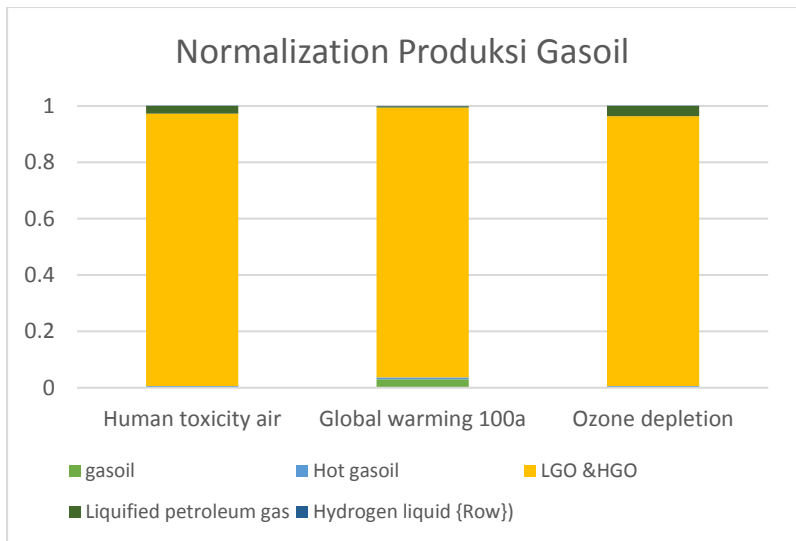
Tabel 4.23 *Normalization gasoil* dari GO HTU

<i>Impact category</i>	unit	<i>Normalization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	5,88E+09
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	7,75
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,02

Rumus perhitungan:

$$N_k = Sk / R_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *gasoil*:



Gambar 4.17 Diagram perhitungan *Normalization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 24 *Normalization gasoil* dari GO HTU

Impact category	unit	gasoil	Hot gasoil	LGO &HGO	Liquified petroleum gas	Hydrogen liquid {Row}}
Human toxicity air	person	0,044	0,457	77,5	2,16	0,00371
Global warming 100a	kg CO ₂ eq	8,32	1,95	269	1,32	0,163
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-	0,126	18,3	0,692	1,37E-5

Hasil analisa dari tahap *normalization* pada unit *Crude Destilation* yang menghasilkan LGO&HGO didapatkan nilai terbesar yang terjadi pada *human toxicity*, *ozone depletion* dan *global warming* berasal dari *LGO&HGO*. Namun hasil di atas belum bisa dibandingkan mengingat antara komponen masih memiliki satuan yang berbeda. Agar dapat dibandingkan maka dilakukan tahap *weighting* dan *single score*.

c. *Weighting* dan *Single score*

Perhitungan *weighting score* dengan menggunakan rumus di bawah ini dan menggunakan nilai *weighting factor* akan didapat besaran dari *single score* seperti yang tertera pada Tabel 4.26.

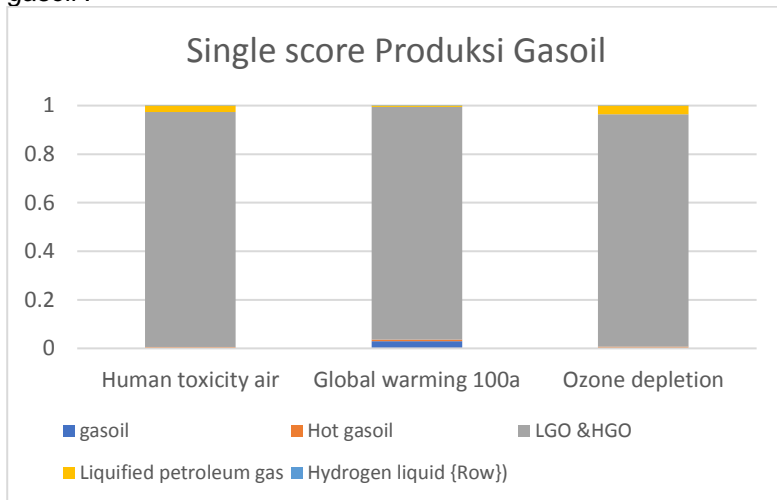
Tabel 4. 25 *Weighting dan Single score* GO HTU pada *gasoil*

<i>Impact category</i>	unit	<i>Weighting Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	1,1
<i>Global warming 100a</i>	kPt	1,1
<i>Ozone depletion</i>	kPt	63

Rumus :

$$EI = \sum V_k \times N_k \text{ atau } EI = \sum V_k \times S_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *gasoil* :



Gambar 4. 18 Diagram *Weighting* dan *Single score*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

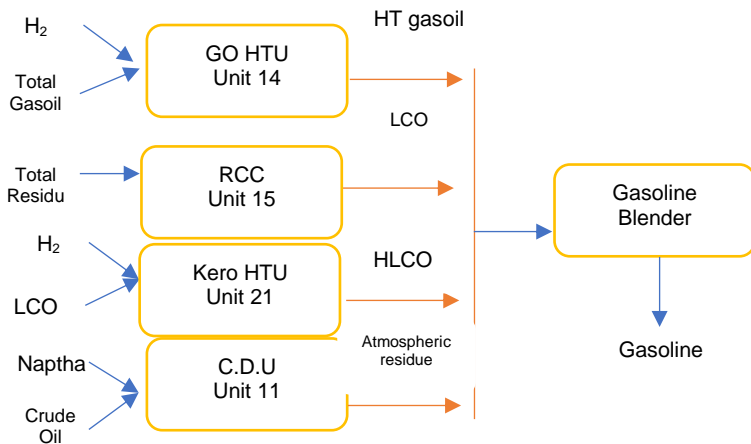
Tabel 4. 26 *Weighting dan Single Score GO HTU pada gasoil*

<i>Impact category</i>	<i>unit</i>	<i>gasoil</i>	<i>Hot gasoil</i>	<i>LGO &HGO</i>	<i>Liquified petroleum gas</i>	<i>Hydrogen liquid {Row})</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	4,84E-5	0,000463	0,08853	0,00213	3,84E-6
<i>Global warming 100a</i>	kPt	0,00915	0,00215	0,296	0,00145	0,000179
<i>Ozone depletion</i>	kPt	-	0,00793	1,15	0,0436	8,6E-7

Dari Tabel 4.26 diketahui bahwa pada komponen pembentukan *gasoil* memberikan pengaruh terhadap dampak *human toxicity*, *global warming 100a*, dan *ozone depletion* namun pengaruh terbesar terjadi pada dampak *ozone depletion* sebesar 1.15 kPt. Hasil yang ditunjukkan oleh tahap *weighting* dan *Single score* berbeda dari hasil sebelumnya karena pada tahap ini masing-masing dampak telah memiliki satuan yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa dampak terbesar yang berpengaruh pada proses produksi *gasoil* adalah *ozone depletion*. Dimana *ozone depletion* berasal dari penggunaan bahan bakar dalam memproduksi material *LGO&HGO*, seperti yang digambarkan pada Gambar 4.18. Dengan penerapan alternatif, kegiatan untuk mereduksi emisi dapat menurunkan emisi dari *heavy fuel oil* yang berdampak terhadap *ozone depletion*, *human toxicity*, dan *global warming 100a*.

4.2.3 Proses Produksi *Industrial Diesel Fuel* (IDF)

Minyak diesel merupakan hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam dengan kandungan sulfur yang rendah. Kemudian untuk menghasilkan BBM jenis IDF atau minyak diesel memerlukan campuran beberapa komponen berupa *Hydrotreated Gas oil*, *Light cycle oil (LCO)*, *HLCO*, dan *Atmospheric Residue* yang masing-masing dihasilkan dari beberapa unit seperti pada alur di bawah ini:



Gambar 4. 19 Diagram *input* dan *output* Produksi IDF

262,515 ton/jam atau 6300,36 ton/hari. Yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Untuk jumlah bahan baku dan teknologi yang digunakan dalam memproduksi IDF akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

4.2.3.1 Data Bahan Baku dan Produksi

Untuk menghasilkan produk *gasoline* dibutuhkan bahan baku dan bahan bakar dalam menjalankan prosesnya, berikut adalah data bahan baku beserta teknologi yang digunakan dalam proses pengolahannya:

Tabel 4. 27 Bahan Baku dan Produk yang Dihasilkan

Kegiatan	Material	Unit	Produk	Jumlah Produk (ton/jam)	Bahan bakar	Jumlah bahan bakar (m3/jam)
Primary Process	Crude oil Naptha	Crude Distillation Unit (CDU)	Atmospheric Residue	176,9	Fuel oil	830,01
					Fuel gas	58636,072
Pembersihan (menghilangkan impuritis)	Hydogen Total Gasoil	GO HTU	HT gas oil	0,015	Fuel gas	3,10
Konversi	Total residue	Residue Catalytic Cracking	Light Cycle Oil (LCO)	84,59	Fuel gas	13777,54
Pembersihan	LCO	LCO/Kero HTU	HLCO	1,01	Fuel gas	95,657

Selanjutnya untuk masing-masing kegiatan dan jumlah bahan baku, bahan bakar serta produk dari masing-masing material di atas akan dijelaskan lebih rinci pada subbab 4.2.3.3.2 penentuan *life cycle inventory*.

4.2.3.2 Perhitungan Beban Emisi

Dilakukan perhitungan beban emisi yang terbentuk selama proses produksi berlangsung hingga dihasilkan satuan produk. Akan didapat dua hasil perhitungan emisi, secara utuh yaitu beban emisi total selama proses berlangsung pada tiap pencemar dan perhitungan jika dalam satuan produk. Berikut ini adalah contoh perhitungan beban emisi dari unit pembakaran *furnace* dan *flare*.

1. Contoh perhitungan beban emisi CO₂ untuk unit pembakaran *furnace* unit RCC:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC : pemakaian bahan bakar

EF : faktor emisi dari data kandungan karbon/gas berdasarkan API Compendium

Tabel 4. 28 Faktor Emisi CO₂

Fuel	Carbon emission Factor from original Source Documentation			CO ₂ emission Factor, SI Units	
				Tonnes/10 ¹² J (LHV)	Tonnes/10 ¹² J (HHV)
Refinery Gas	15,7	Kg C/10 ⁹ J (LHV)	Table1.3, IPCC, 2007	57,6	51,8

Sumber : API Compendium, 2009

Diketahui pemakaian bahan bakar (*fuel gas*) pada *furnace* unit RCC sebesar 13777,54 m³/jam atau 9,27 ton *fuel* /jam. Berdasarkan API Compendium didapatkan faktor emisi untuk *fuel gas* sebesar 15,7 kgC/10⁹ joule (LHV) dikonversikan menjadi faktor emisi CO₂ mejadi 57,6 ton/10⁻¹². Karena perhitungan faktor emisi berbasis energi maka konsumsi bahan bakar harus dikonversikan ke konsumsi energi dengan cara mengalikan dengan nilai kalornya berdasarkan API Compendium 2009, karena nilai kalor yang menggambarkan kuantitas energi yang dilepaskan saat bahan bakar terbakar sempurna. Namun untuk bahan bakar *fuel gas* nilai

kalor yang digunakan berdasarkan pengukuran lapangan sebesar $4,842 \times 10^{10}$ joule/ton. Sehingga:

$$\begin{aligned} E_{CO_2} &= FC \times EF \\ &= 9,27 \text{ ton fuel /jam} \times 57,6 \text{ ton}/10^{-12} \text{ joule} \times \\ &\quad 4,842 \times 10^{10} \text{ joule/ton} \\ &= 26,27261 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

2. Contoh perhitungan beban emisi CO_2 untuk unit pembakaran *flare* ROPP:

Rumus yang digunakan adalah :

$$E_{CO_2} = FC \times EF$$

Dimana : FC : volume gas flaring (scf)

EF : faktor emisi dari data kandungan karbon/gas yang dipublikasikan dari Oil and Gas Producers (OGP)

Tabel 4. 29 Faktor Emisi Unit Suar Bakar

emisi	unit	Faktor emisi
CO ₂	Ton/ton	2,61
CH ₄		0,035
NO _x		0,0015
N ₂ O		0,00081
SO _x		0,0000128
VOC		0,015

Sumber : OGP Report

Sebagai contoh perhitungan adalah *flare* ROPP. Diketahui volume *gas flaring* pada *flare* ROPP adalah 333,1 ton. Faktor emisi untuk emisi gas CO_2 adalah 2,61 ton/ton. Sehingga beban emisi CO_2 untuk unit *flare* ROPP adalah

$$E_{CO_2} : 333,1 \text{ ton} \times 2,61 \text{ ton/ton} = 869,2648 \text{ ton}$$

Jadi, beban emisi CO_2 pada unit RCC adalah sebesar 26,27261 ton/jam dan untuk *flare* ROPP sebesar 869,2648 ton. Untuk hasil perhitungan beban emisi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel berikut ini :

Tabel 4.30 Beban Emisi yang dihasilkan Proses Produksi

Sumber emisi	Lokasi	CO ₂ (ton/jam)	CH ₄ (ton/jam)	N ₂ O (ton/jam)	SO ₂ (ton/jam)	NO ₂ (ton/jam)	PM (ton/jam)	mmVOC (ton.jam)
Emisi pembakaran	<i>Furnace</i> unit RCC	26,27261	0,000501	0	1,089675	181,613	13,80255	
	<i>Furnace</i> unit CDU	2385,052	0,09177	0,01817	7,18083	1470,214	59,10517	
	<i>Furnace</i> unit GO HTU	0,005926	0	0	0,000246	0,040965	0,003113	
	<i>Furnace</i> unit LCO HTU	0,182784	0	0	0,007584	1,263492	0,096024	
	<i>Flare</i> Exor	16343,43	219,1638	0,5084	0	9,393	0,8308	
	<i>Flare</i> KLBB	3072,729	41,2052	0,0961	0	1,767	0,155	
	<i>Flare</i> ROPP	869,2648	11,656	0,0837	0	0,4991	0	
Emisi Fugitive	Fugitive Go HTU		0,00428					0,014
	Fugitive RCC		4,14					24,84
	Fugitive LCO HTU		0,335					2,01
	Fugitive CDU		4,65					27,9

Sumber : hasil perhitungan

4.2.3.3 Emisi yang dihasilkan dalam 1 ton produk Industrial Fuel oil

Pada proses pengolahan telah diketahui jumlah produk yang dihasilkan yaitu sebesar 262,52 ton/jam. Maka dilakukan perhitungan beban emisi dalam satuan ton/produk. Perhitungan dalam 1 ton produk dilakukan dengan cara membagi beban emisi yang terbentuk dengan total produk yang dihasilkan. Berikut perhitungan dan hasil perhitungan dari beban emisi proses pengolahan :

Perhitungan total emisi per produk :

Jumlah emisi: Emisi/ Jumlah produk

: 22696,93ton CO₂/jam / 262,52 ton/jam

: 86,4 ton CO₂/ton IDF

Tabel 4.31 Emisi yang dihasilkan setiap 1 ton produk IDF

Jumlah produk (ton/jam)	Jumlah emisi yang dihasilkan (ton/jam)						
310,76	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM	mmVOC
	22696,93	281,247	0,706	8,278	1664,791	73,992	54,765
	Jumlah emisi yang dihasilkan per satuan produk (ton/ton)						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM	mmVOC
	86,458	1,07	0,003	0,032	6,342	0,282	0,21

Sumber:perhitungan

4.2.3.3 Life Cycle Assessment

Penilaian dampak Lingkungan terhadap proses produksi *gasoline* dilakukan melalui tahapan berikut ini:

4.2.3.3.1 Penentuan Goal and Scope

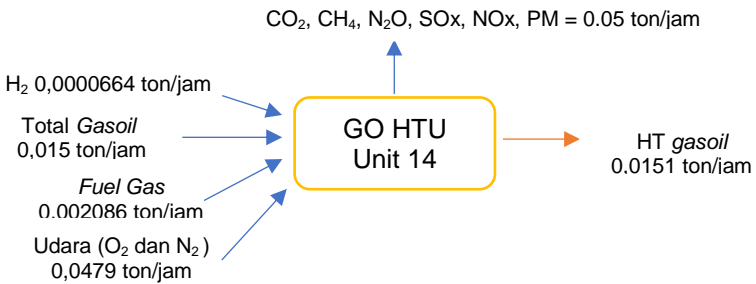
Tujuan dari penelitian ini terfokus pada dampak gas rumah kaca dan pencemar udara yang ditimbulkan selama proses produksi minyak bumi. Dimana aktifitas yang diteliti adalah proses produksi *gasoline*, *gasoil*, dan industrial *fuel oil*. Metode yang digunakan adalah EDIP 2003, dengan batasan *impact assessment* penelitian ini adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, dan *human toxicity*.

4.2.3.3.2 Penentuan Life cycle inventory

Dalam analisis data dibutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan massa dan spesifik data yang didapatkan dari perusahaan yang bersangkutan. Data yang digunakan merupakan data satu tahun terakhir bulan Januari hingga Desember 2017.

1. Gasoil Treatment

Unit yang berfungsi mengolah kembali gas oil yang tidak stabil dan korosif dari crude destilation dan atmospheric residue agar didapatkan gas oil yang memenuhi ketentuan pemasaran.



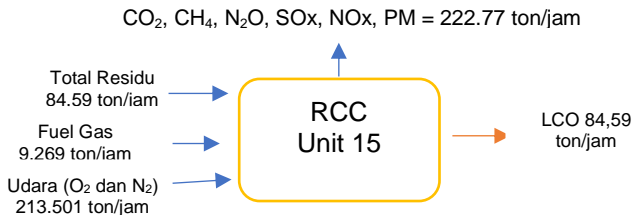
Gambar 4. 20 Material Balance GO HTU Unit Gasoil

Sumber : perusahaan

Dalam proses pengolahannya GO HTU akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas*.

2. Residue Catalytic Cracker

Unit yang berfungsi untuk mengolah residu minyak menjadi produk minyak yang bernilai tinggi seperti : LPG. *gasoline*. *light cycle oil* dll.



Gambar 4. 21 Material balance dari unit RCC

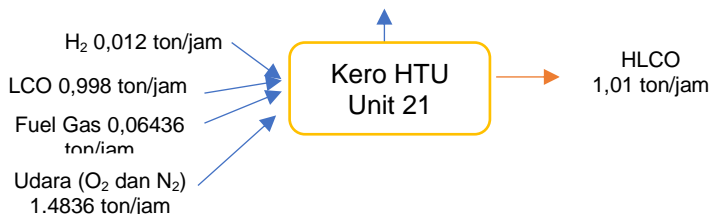
Sumber : perusahaan

Dalam proses pengolahannya GO HTU akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas*.

3. LCO/Kerosene HTU

Unit dimana bertujuan untuk menghilangkan pengotor pada *light cycle Oil* dari RCC unit yang masih banyak mengandung senyawa organik seperti sulfur dan nitrogen agar produk yang dihasilkan memenuhi *memasaran*.

CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM = 1.548 ton/jam



Gambar 4. 22 *Material balance* dari unit LCO/Keros HTU

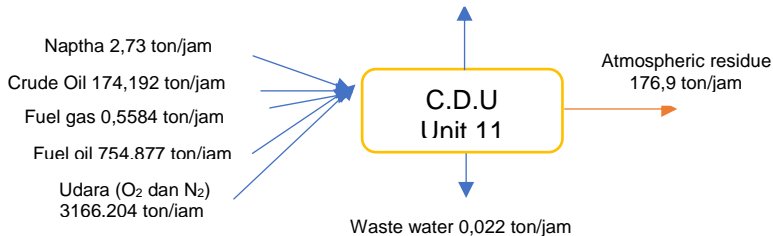
Sumber : perusahaan

Dalam proses pengolahannya Kero HTU akan menghasilkan emisi berupa CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas*

4. Crude Destilasi

Crude destilasi adalah unit pemisah fisik berdasarakan perbedaan titik didih dan titik embunnya. Tujuan adanya CDU adalah untuk memaksimalkan produk akhir dengan memproses kembali residu yang dihasilkan pada unit ARHDM.

CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_x , NO_x , PM = 3921.64 ton/jam



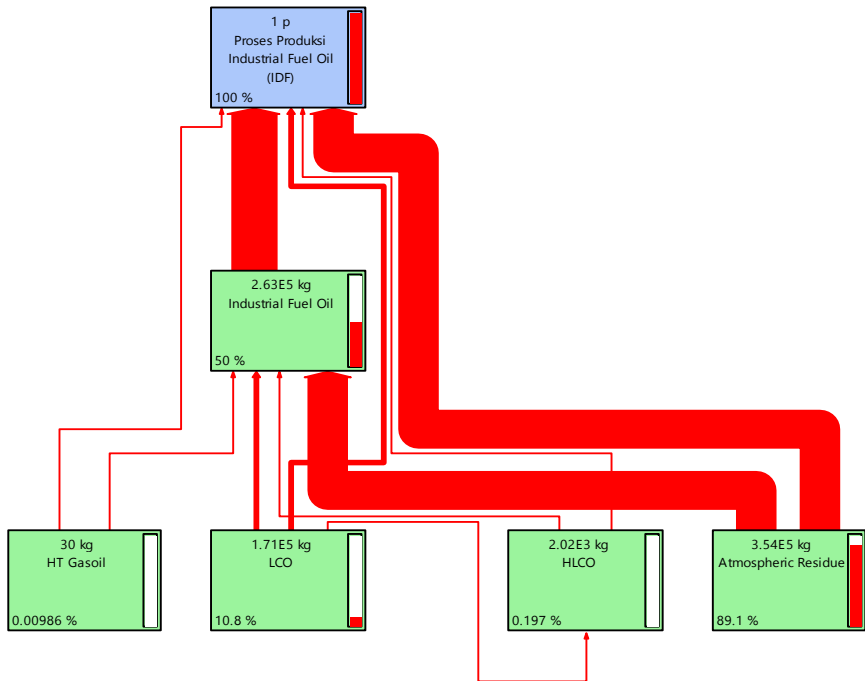
Gambar 4. 23 *Material Balance crude Destilation* Unit IDF

Sumber : perusahaan

Dalam proses pemisahannya CDU akan menghasilkan emisi berupa CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, PM yang berasal dari proses pembakaran menggunakan *furnace* dengan bahan bakar *fuel gas* dan *fuel oil*.

4.2.3.3.3 Life Cycle Impact Assessment

Prakiraan dampak berdasarkan input dan output pada setiap kegiatan. Metode yang digunakan dalam proses penentuan dampak yaitu *Environmental Design of Industrial Product (EDIP)* 2003. Metode ini sangat berkaitan dengan yang akan diteliti yaitu sektor industri. Metode ini juga terfokuskan pada pemodelan karakteristik yang ditimbulkan oleh dampak yang tidak terlalu luas. Penilaian pada *impact assessment* terdiri dari 4 tahapan yaitu : *Characterization*, *Normalization*, *Weighting* dan *Single Score*. Cakupan dampak yang akan diteliti yaitu *Global warming 100a*, *Ozone Depletion*, dan *Human toxicity air*, karena berdasarkan emisi yang dihasilkan kemungkinan besar memberikan kontribusi terbesar pada tiga dampak di atas. Pada gambar 4.24 adalah diagram pohon (*network*) yang terbentuk dari pengolahan data input dan output yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan diagram pohon (*network*) didapatkan bahwa garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah yang tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak yang diberikan selama unit tersebut berjalan. Sedangkan angka persen yang terdapat di dalam kotak menunjukkan besarnya beban emisi pada unit tersebut yang dihasilkan dari perhitungan empat tahapan *impact assessment* berdasarkan database yang telah diinputkan sebelumnya. Berdasarkan perhitungan kontribusi dampak paling besar dihasilkan dari blending IDF. Hal tersebut terjadi bukan karena kegiatan blending itu sendiri melainkan karena pembebanan jumlah produk yang masuk ke dalam tangki. Sehingga perlu dilakukan peninjauan lebih dalam agar dapat mengetahui berasal dari material mana yang memberikan beban terbesar. Berikut Gambar 4.24 diagram pohon(*network*) dari produksi IDF dan Tabel 4.32 adalah nilai kontribusi dampak pada proses produksi *industrial fuel oil*:



Gambar 4. 24 diagram pohon (*network*) Produksi IDF

Untuk besaran atau nilai dampak yang ditimbulkan dari beban lingkungan di atas dapat dilihat pada Tabel di bawah ini:

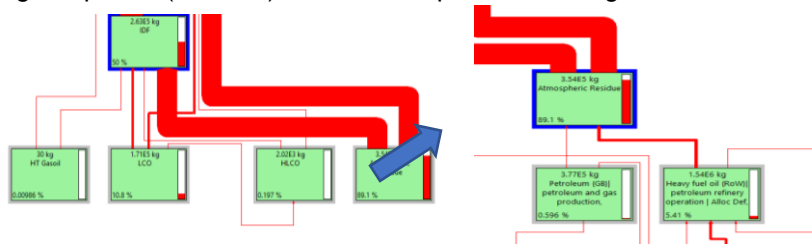
Tabel 4. 32 Nilai Kontribusi Dampak Proses Produksi IDF

<i>Impact category</i>	unit	HT <i>gasoil</i>	LCO	HLCO	AR	IDF
<i>Human toxicity air</i>	person	4,19E6	5,52E8	9,45E6	5,01E10	5,06E10
<i>Global warming 100a</i>	kg CO2 eq	240	3,5E4	644	2,72E6	2,75E6
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	4,3E-5	0,0066	0,000117	0,512	0,519

Dari Tabel di atas dapat diketahui bahwa komponen IDF memberikan kontribusi dampak terbesar. Dampak yang ditimbulkan berupa *human toxicity* sebesar $5,01 \times 10^{10}$ person.

4.2.3.3.4 Analisa Dampak Proses Pengolahan

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa pada digram pohon proses pengolahan industrial *fuel oil*, kontribusi dampak terbesar dari unit blending IDF karena unit blending IDF menampung beban yang tidak diketahui jumlahnya dari semua material. Maka dari itu perlu dibuat *network* untuk komponen IDF agar dapat mengetahui berasal dari komponen mana yang memberikan beban terbesar. Berikut gambar menampilkan diagram pohon (*network*) dari unit komponen blending IDF.



Gambar 4. 25 Network IDF

Pada *network* tersebut diketahui bahwa kontribusi terbesar berasal dari material *atmospheric Residue* yaitu sebesar 89,1%. Hal tersebut bisa terjadi karena *atmospheric residue* terbentuk dari bahan baku berupa *Heavy Fuel oil {RoW}* sebesar 5,41%. *HFO* merupakan minyak bakar yang masih mengandung berbagai

macam polutan yang dapat menghasilkan emisi jika dilakukan pembakaran, terlebih lagi jika pembakarannya tidak sempurna. Setelah dilakukan *networking* dan diketahui komponen mana yang menyebabkan beban emisi menjadi tinggi selanjutnya akan dilakukan penilaian terhadap dampak sebanyak 4 kali:

a. *Characterization*

Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCI agar menjadi *impact* yang dipilih oleh peneliti. Berikut nilai *characterization factor* serta rumus yang digunakan dalam perhitungannya:

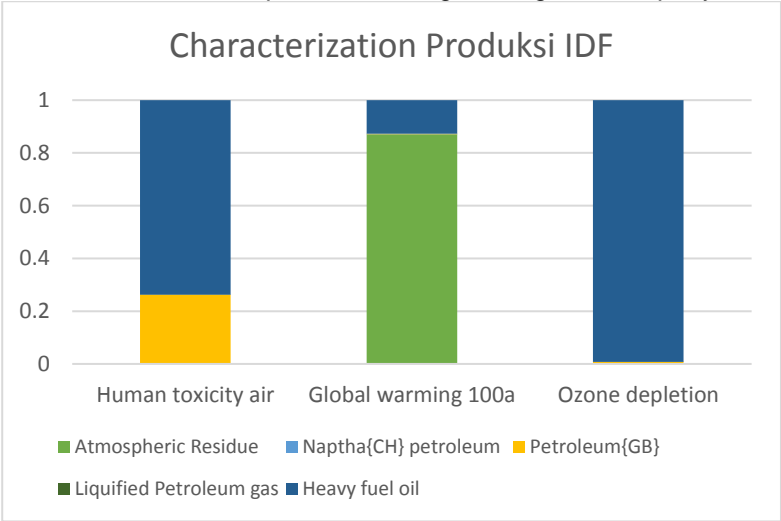
Tabel 4. 33 *Characterization Factor*

<i>Impact category</i>	Unit	<i>Characterization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	Person	DALYs
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	GWP 100
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	ODPs

Rumus perhitungannya:

Category Indicator = $\sum_s characterization\ Factor \times emission\ Inventory$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun:



Gambar 4. 26 Diagram *Characterization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 34 *Characterization Atmospheric Residue* dari CDU

<i>Impact category</i>	unit	Atmospheric Residue	Naptha{CH} petroleum	Petroleum{GB}	Liquified Petroleum gas	Heavy fuel oil
<i>Human toxicity air</i>	person	1,16E8	2,4E8	2,59E10	4,94E7	7,38E10
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	4,73E6	1,77E3	8,08E3	495	6,92E5
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	-	0,0033	0,00421	0,000685	1,02

Dari Tabel didapat bahwa nilai paling besar berupa *human toxicity air* yang dihasilkan dari material *heavy fuel oil* sebesar $7,38 \times 10^{10}$ person. Hal itu belum bisa dikatakan dampak paling besar karena tujuan dari *characterization* adalah untuk mengukur seberapa besar dampak berpengaruh terhadap kategori dampak yang ingin diteliti. Maka dari itu perlu dilakukan tahapan selanjutnya.

b. Normalization

Dalam perhitungannya digunakan *normalization factor* untuk menyetarakan *category impact*. Berikut adalah *normalization factor* beserta rumus perhitungan yang digunakan:

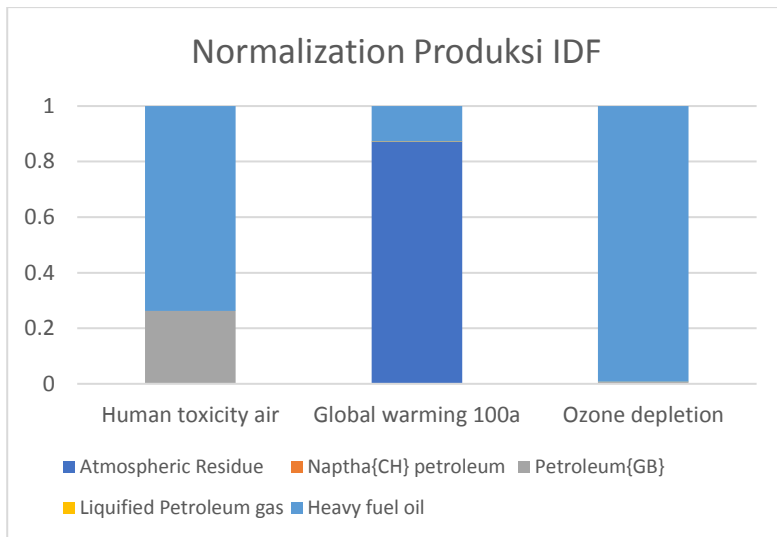
Tabel 4. 35 *Normalization Factor*

<i>Impact category</i>	unit	<i>Normalization Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	person	9,18E+09
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	8,7
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,2

Rumus perhitungan:

$$N_k = S_k / R_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun IDF :



Gambar 4. 27 Diagram *Normalization*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 36 *Normalization Atmospheric Residue* dari unit CDU

<i>Impact category</i>	unit	Atmospheric Residue	Naptha{CH} petroleum	Petroleum{GB}	Liquified Petroleum gas	Heavy fuel oil
<i>Human toxicity air</i>	person	0,245	0,505	54,7	0,104	156
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	610	0,228	1,04	0,0639	89,2
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	-	0,161	0,205	0,0334	49,6

Hasil analisa dari tahap *normalization* pada unit *Crude Destilation* yang menghasilkan *Atmospheric Residue* didapatkan nilai terbesar yang terjadi pada *human toxicity* dan *ozone depletion* berasal dari *heavy fuel oil* sedangkan *global warming 100a* berasal dari *Atmospheric Residue*. Namun hasil di atas belum bisa dibandingkan mengingat antara komponen masih memiliki

satuan yang berbeda. Agar dapat dibandingkan maka dilakukan tahap *weighting* dan *single score*.

c. *Weighting dan Single score*

Perhitungan *weighting score* dengan menggunakan rumus di bawah ini dan menggunakan nilai *weighting factor* akan didapat besaran dari *single score* seperti yang tertera pada Tabel 4.38.

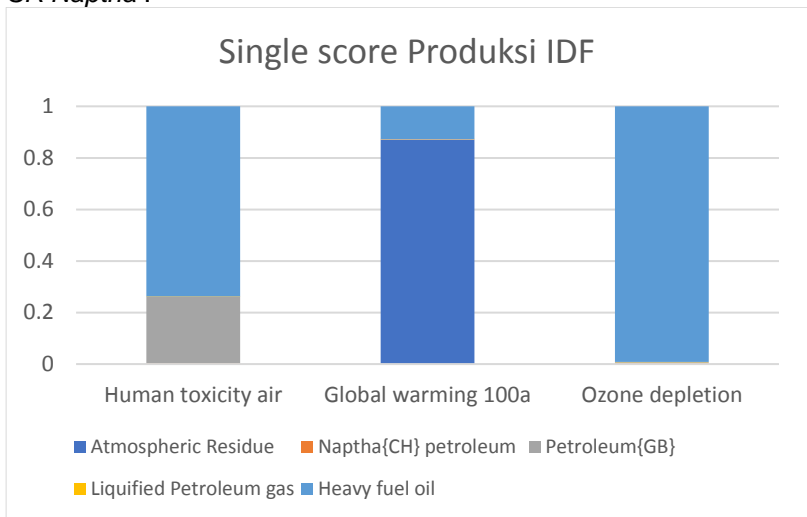
Tabel 4. 37 *Weighting factor*

<i>Impact category</i>	unit	<i>Weighting Factor</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	1,1
<i>Global warming 100a</i>	kPt	1,3
<i>Ozone depletion</i>	kPt	63

Rumus :

$$EI = \sum V_k \times N_k \text{ atau } EI = \sum V_K \times S_k$$

Berikut kontribusi dampak dari masing-masing material penyusun *SR Naptha* :



Gambar 4. 28 Diagram *Weighting dan Single Score*

Ditunjukkan dalam bentuk angka seperti pada Tabel di bawah ini:

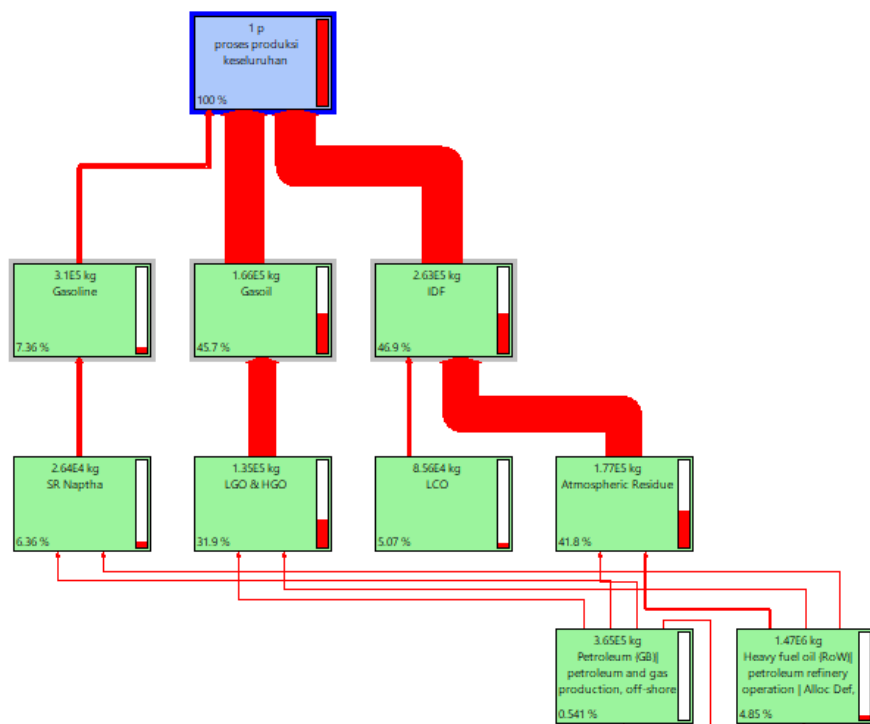
Tabel 4. 38 *Weighting dan Single Score Atmospheric Residue*

<i>Impact category/Impact category</i>	<i>unit</i>	<i>Atmospheric Residue</i>	<i>Naptha{CH} petroleum</i>	<i>Petroleum{GB}</i>	<i>Liquified Petroleum gas</i>	<i>Heavy fuel oil</i>
<i>Human toxicity air</i>	kPt	0,000269	0,000556	0,0602	0,000115	0,171
<i>Global warming 100a</i>	kPt	0,671	0,000251	0,00115	7,02E-5	0,0982
<i>Ozone depletion</i>	kPt	-	0,0102	0,0129	0,00211	3,12

Dari Tabel 4.38 diketahui bahwa pada komponen pembentukan *atmospheric residue* memberikan pengaruh terhadap dampak *human toxicity*, *global warming 100a*, dan *ozone depletion* namun pengaruh terbesar terjadi pada dampak *ozone depletion* sebesar 3,12 kPt. Hasil yang ditunjukkan oleh tahap *weighting* dan *Single score* berbeda dari hasil sebelumnya karena pada tahap ini masing-masing dampak telah memiliki satuan yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa dampak terbesar yang berpengaruh pada proses produksi *IDF (industrial diesel fuel)* adalah *ozone depletion*. Dimana *ozone depletion* berasal dari *atmospheric residue* seperti yang digambarkan pada Gambar 4.28. Dengan penerapan alternatif, kegiatan untuk mereduksi emisi dapat menurunkan emisi dari *atmospheric residue* yang berdampak terhadap *ozone depletion*, *human toxicity*, dan *global warming 100a*.

4.2.4 Proses Produksi Minyak Keseluruhan

Jika dilakukan analisa pada semua proses produksi minyak secara utuh didapatkan hasil bahwa yang memiliki beban lingkungan terbesar berasal dari proses produksi *Industrial diesel fuel* dengan beban sebesar 46,9% seperti pada diagram di bawah ini:



Gambar 4. 29 Diagram Pohon (*network*) Produksi Minyak Keseluruhan

4.3 Alternatif Kegiatan Produksi

Berikut adalah alternatif yang dapat digunakan sebagai upaya untuk mengurangi dampak yang dihasilkan dalam proses kegiatan produksi BBM:

Tabel 4. 39 Alternatif kegiatan produksi

Alternatif	Cara kerja	Manfaat
Menggunakan bahan bakar <i>biodiesel</i>	Mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan <i>biodiesel</i> , merupakan alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari berbagai jenis biji-bijian.(*)	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mengurangi emisi carbon 120-170 kton pertahun. • Ramah lingkungan, pompa dapat bekerja dengan baik dengan pembakaran yang relatif bersih • Merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui • Membutuhkan biaya investasi tinggi namun maintenance panjang
Menggunakan <i>preflash coloumn</i> atau <i>preflash drum</i> pada kolom destilasi	<i>Drum pre-flash</i> yang ditempatkan pada depan tungku destilasi atmosfer dengan waktu tinggal diperpanjang 16-20 menit untuk memisahkan gas dan cairan sebelum dipanaskan, sehingga dihasilkan light destilate (minyak sulingan yang ringan) (**)	<ul style="list-style-type: none"> • Mengurangi komponen ringan dalam proses pemurnian • Mengurangi penggunaan energi panas sekitar 19% • Meningkatkan produksi destilasi tengah hingga 30%
Integrasi unit unit CDU, <i>Vacuum</i> , dan <i>coker</i> dengan generator turbin gas (<i>heat exchanger</i>)	Integrasi unit CDU, <i>Vacuum</i> dan <i>coker</i> dengan aliran produk didinginkan pada unit destilasi dengan penukaran panas yang maksimum sehingga terbentuk <i>feedstock</i> untuk proses selanjutnya dan	<ul style="list-style-type: none"> • Menghemat penggunaan energi • Mengurangi terbentuknya emisi 22%

Alternatif	Cara kerja	Manfaat
	dikombinasikan dengan generator turbin gas dapat menghasilkan listrik (**)	
<i>Cogeneration (combined heat dan power)</i>	Memasang generator turbin gas (GTGs) dan <i>heat recovery steam generator</i> (HRSG) sehingga gas buang panas dari GTGs diolah dengan HRSG kemudian uap yang dihasilkan dapat digunakan lagi dalam proses digabung dengan daya (****)	<ul style="list-style-type: none"> • Menghemat penggunaan listrik • Mengurangi pembuangan gas emisi • Biaya operasi lebih rendah • Menghasilkan listrik
<i>Gasifikasi</i>	Memproses <i>heavy fraction</i> dan <i>coke</i> menjadi gas sintesis yang dapat digunakan kembali (pada proses kimia, dan produksi hidrogen dan pembangkit pada IGCC) (****)	Dapat mereduksi CO ₂ 40% dan 80% dari SO _x , NO _x , CO dan PM dapat dicapai
<i>Desulfurisasi oksidatif atmospheric residue</i>	Modifikasi pada proses ekstraksi dan oksidasi yang dilakukan beberapa tahap menggunakan <i>multiple reaktor</i> (*****)	Menurunkan kadar sulfur pada minyak <i>residue</i>
Modifikasi unit pembakaran dengan <i>modern control system</i>	Mengaplikasikan <i>advanced proses control</i> sehingga dapat dideteksi penggunaan bahan bakar dan dapat mengontrol pembuangan bahan bakar yang berlebih (*****)	Meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi CO ₂

Berikut adalah alternatif yang dapat dilakukan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan selama proses produksi berlangsung :

Sumber : *) Harsono, 2015

**) Erricco et al., 2009

***) Plomp dan Kromp, 2010

****) Worrel & Galitsky, 2005

- *****) Bailey & Worrel, 2005
 *****) Tetrisyanda dkk., 2017
 *****) Australian Government, 2009

Alternatif di atas merupakan pilihan alternatif berasal dari studi literatur yang memungkinkan untuk diterapkan pada lokasi kerja dengan mempertimbangkan kriteria biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan.

4.4 Pemilihan Prioritas Alternatif dengan AHP

Pemilihan prioritas dilakukan melalui beberapa tahapan:

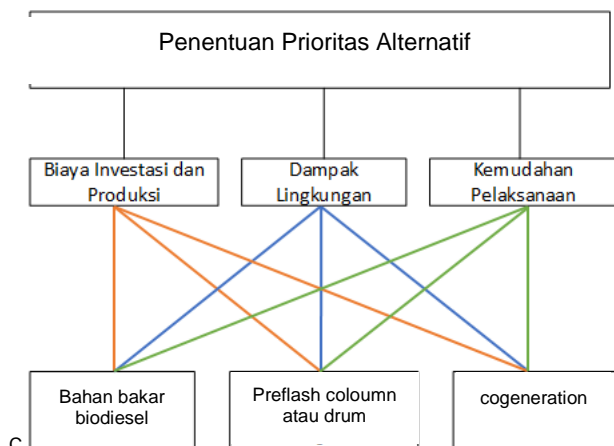
4.4.1 Pemilihan Kriteria dalam Prosedur AHP

Dari hasil *life cycle assessment* diketahui grafik perbandingan dampak lingkungan dan telah dianalisa alternatif yang dapat digunakan. Terdapat tiga kriteria yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Biaya Investasi dan Produksi
 Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan langsung yang digunakan untuk operasional alternatif.
2. Dampak Lingkungan
 Dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi dampak yang dianalisa pada LCA.
3. Kemudahan Pelaksanaan
 Kemudahan dalam pelaksanaan yang dimaksud adalah tingkat kesulitan dalam operasional *alternated* terbilang rendah.

4.4.2 Hirarki Alternatif

Berdasarkan hasil diskusi dengan pihak produksi perusahaan dipilih 3 alternatif yang cocok untuk diterapkan pada kondisi lapangan industri yaitu penggantian dengan bahan bakar *biodiesel*, penggunaan *preflash coloumn* atau *drum* dan *cogeneration*. Berikut hirarki alternatif dibandingkan dengan kriterianya yang telah ditentukan:



Gambar 4. 30 Hirarki perbandingan alternatif dan kriteria

Untuk mempermudah analisis selanjutnya setiap program dilambangkan dengan simbol tertentu. Simbol terdiri dari 2 macam seperti yang tertera pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. 40 Simbol dan Definisinya

Kriteria	Simbol	Alternatif	Simbol
Biaya investasi & produksi	A1	Preflash coloumn atau drum	K1
Dampak lingkungan	A2	Bahan bakar <i>biodiesel</i>	K2
Kemudahan pelaksanaan	A3	cogeneration	K3

Kemudian membuat tabel perbandingan prioritas setiap alternatif dan kriteria. Dilanjutkan dengan menentukan bobot pada setiap alternatif dan kriteria nilai bobot adalah berkisar antara 0-1. Cara menghitung bobot adalah angka pada setiap kotak dibagi dengan penjumlahan semua angka dalam kolom yang sama. Berikut adalah hasil perhitungan penentuan bobot dari masing-masing kriteria dan alternatif:

Tabel 4. 41 Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot

penilaian Kriteria

kode	A1	A2	A3	total	bobot
A1	0,497783	0,764746	0,526483	1,789012	0,5963372
A2	0,087722	0,134767	0,271258	0,493748	0,1645826
A3	0,414495	0,100487	0,202258	0,717241	0,2390802

Tabel 4.42 Perbandingan Prioritas dan Penentuan Bobot alternatif

Penilaian alternatif kriteria dampak lingkungan

Kode	K1	K2	K3	total	bobot
K1	0,414207	0,696403	0,502412	1,613021	0,5376738
K2	0,081077	0,136314	0,223415	0,440806	0,1469353
K3	0,504716	0,167283	0,274173	0,946173	0,3153909

Penilaian alternatif kriteria biaya investasi dan produksi

Kode	K1	K2	K3	total	bobot
K1	0,732401	0,712574	0,747692	2,192667	0,730889
K2	0,125156	0,121768	0,10689	0,353813	0,1179377
K3	0,142444	0,165658	0,145418	0,45352	0,1511733

Penilaian alternatif kriteria kemudahan pelaksanaan

Kode	K1	K2	K3	total	bobot
K1	0,588367	0,593032	0,583865	1,765264	0,5884214
K2	0,199874	0,201459	0,205997	0,607329	0,202443
K3	0,211759	0,205509	0,210139	0,627407	0,2091356

Dari perhitungan di atas sehingga didapat hasil akhir seperti pada Tabel 4,42. Pembahasan mengenai hasil kuisioner terdapat pada subbab selanjutnya (4.5 C Alternatif Kegiatan Produksi)

Tabel 4. 43 Nilai Bobot Setiap Kriteria dan Alternatif

No	Kriteria yang diusulkan	bobot	nilai
1	biaya investasi dan produksi	0,596	60%
2	dampak lingkungan	0,165	16%
3	kemudahan pelaksanaan	0,239	24%
Jumlah		1.000	100%
no	program yang diusulkan	bobot	nilai
1	preflash coloumn atau drum	0,731	73%
2	bahan bakar <i>biodiesel</i>	0,118	12%
3	cogeneration	0,151	15%
jumlah		1.000	100%

4.5 Pembahasan Hasil Analisa Keseluruhan

A. Analisis Perhitungan Beban Emisi

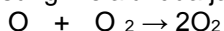
Setelah dilakukan perhitungan beban emisi dari semua proses produksi menunjukkan hasil bahwa jumlah emisi terbesar yang dihasilkan selama satu kali proses produksi BBM yaitu emisi CO₂ total secara keseluruhan sebesar 81,89 ton CO₂/produk *gasoline*, 81,169 ton CO₂/produk *gasoil*, dan 86,4 ton CO₂/produk IDF. Menurut Suprihatin dkk (2008) bahwa CO₂ dihasilkan dari sumber pembakaran bahan bakar fosil. Dan didukung dengan pernyataan Kementerian Keuangan RI (2015). Sumber emisi terbesar di kilang berasal dari pembakaran bahan bakar di tungku/*furnace*, *boiler*, dll (untuk emisi CO₂ > 65% emisi total). Dengan mengoptimalkan efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar di tungku dapat dikurangi secara signifikan serta akan mengurangi emisi CO₂. Jika dibandingkan ketiga produksi bahan bakar yang menghasilkan emisi terbesar adalah IDF, karena menurut Mulyana (2017) besarnya emisi GRK yang dikeluarkan berbanding lurus dengan besarnya energi yang dibakar.

Berarti dapat dikatakan emisi CO₂ yang besar dihasilkan dari penggunaan bahan bakar selama proses produksi berlangsung, mengingat dalam produksinya menggunakan 2

macam bahan bakar berupa *fuel oil* dan *fuel gas*. Sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut agar didapat alternatif solusi yang tepat untuk mereduksi jumlah beban emisi yang dihasilkan yaitu pada tahap berikutnya

B. Analisis Dampak Produksi BBM

Setelah dilakukan analisis berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh piranti lunak Simapro 8.4 selama proses produksi dari ketiga jenis BBM di atas dampak terbesar yang berpengaruh terhadap lingkungan berupa *ozone depletion*. Setelah dilakukan peninjauan lebih dalam lagi terhadap diagram pohon (*network*) yang telah terbentuk dari semua proses, penyumbang beban emisi terbesar merujuk pada bahan bakar yang digunakan. Dimana bahan bakar yang digunakan adalah *fuel oil* dan *fuel gas* dengan berbagai macam kandungan organik. Dibuktikan pada sub bab 4.4 A dalam perhitungan beban emisi menunjukkan beban emisi terbesar berupa CO₂ yang mana banyak dihasilkan dari sumber pembakaran. Emisi CO₂ termasuk salah satu gas yang dapat mempengaruhi dampak penipisan lapisan ozon ditambah lagi dengan hadirnya gas N₂O sebagai beban emisi semakin mendukung terjadinya dampak penipisan lapisan ozon. Menurut Ambarsari (2010) hampir setengah dari seluruh penelitian mengenai kenaikan temperatur karena konsentrasi CO₂ yang meningkat dua kali juga karena meningkatnya konsentrasi uap air. Peningkatan konsentrasi uap air di stratosfer telah menghasilkan efek pendinginan sama halnya dengan proses penipisan ozon. Reaksi destruksi/perusakan ozon dan terbentuknya O₂ dapat berlangsung melalui dua jalan :



Reaksi ini dihasilkan melalui reaksi yang kompleks dengan katalis gas dan radikal, seperti atom Cl, NO, OH. Reaksi OH dapat terbentuk oleh perusakan uap H₂O, gas buangan dari pesawat supersonik. Selain itu dari bahan baku yang digunakan juga menghasilkan emisi berupa methane, halon dan bromotrifluoro dimana senyawa tersebut sangat berpotensi memicu penipisan ozon. Hasil yang hampir sama dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sari (2017) selama proses pengolahan BBM jenis Solar yang dilakukan di PT Pertamina RU III Plaju dan MOR V

TBBM Tanjung Wangi setelah dilakukan peninjauan didapatkan bahwa dampak paling besar juga berasal dari kegiatan *Crude Destilasi* yaitu *global warming 100a*. Hal ini terjadi karena pada kegiatan tersebut menghasilkan emisi CO₂ yang besar. Sebanding dengan penelitian terdahulu bahwa pada proses pengolahan BBM jenis bensin setelah dilakukan penilaian melalui 4 tahapan didapat bahwa *impact assessment* terbesar terjadi pada Unit CDU dengan beban emisi terbesar. Hal tersebut disebabkan karena pada unit CDU menghasilkan *long residue* yang memiliki dampak besar terhadap *global warming* (Putri, 2017).

Jika dilihat proses produksi secara keseluruhan dari ketiga produk BBM yang memberikan beban lingkungan paling besar yaitu pada produksi *Industrial Fuel oil* karena pada produksinya menggunakan bahan baku berupa *Atmospheric Residue*. *Atmospheric Residue* adalah produk bawah dari hasil pemisahan destilasi pada unit CDU yang masih mengandung berbagai macam pengotor seperti sulfur, nitrogen, logam dan ditambah lagi penggunaan bahan bakar yang digunakan dalam proses pemisahannya yang berupa *heavy fuel oil* dan *fuel gas*. Beban lingkungan terbesar pada proses pengolahan ini berupa *ozone depletion*. Sehingga diperlukan alternatif sebagai upaya untuk mereduksi dampak yang ditimbulkan. Penawaran alternatif akan dibahas pada poin selanjutnya.

C. Alternatif Kegiatan Produksi

Alternatif yang diberikan merupakan alternatif yang didapatkan dari hasil analisa literatur dan hasil diskusi dengan pihak produksi perusahaan. Dari hasil literatur didapatkan 7 alternatif yang sekiranya dapat digunakan pada industri minyak bumi lalu dari hasil tersebut didiskusikan dengan pihak yang bekerja di proses produksi serta dosen mengenai alternatif yang perlu diterapkan agar dapat bekerja lebih maksimal dalam mengurangi emisi. Sehingga dari hasil diskusi dihasilkan 3 alternatif yang sesuai untuk diterapkan pada industri minyak bumi PT.Pertamina RU IV Balongan. Alternatifnya adalah penggunaan bahan bakar *biodiesel*, penggunaan *preflash coloumn* atau *preflash drum* pada kolom destilasi, dan penggunaan *cogeneration (combined heat & power)*. Hasil tersebut didapat dengan pertimbangan menggunakan bahan bakar *biodiesel* dipilih karena

bahan bakar yang ramah lingkungan dan baik untuk pemeliharaan mesin dalam jangka waktu yang lama, lalu penggunaan *preflash column* atau *preflash drum* pada kolom destilasi dipilih karena dengan menerapkan alternatif ini dapat mempengaruhi kinerja CDU, dimana CDU sangat menentukan rate produk sehingga akan berdampak pada keefektifan dan kestabilan operasi pabrik. Alternatif ini juga memiliki kemudahan operasional yang cukup. Kemudian penggunaan *cogeneration (combined heat & power)* dipilih karena penggunaan alternatif ini dapat menurunkan biaya operasi dan mengurangi pembuangan gas karena dilakukan pengolahan panas kembali. Hal tersebut juga didukung berdasarkan literatur untuk mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses produksi menurut Wanders (2015) bisa dilakukan melalui beberapa cara yaitu optimisasi kerja destilasi, penggunaan *biofuels* sebagai bahan bakar pengganti diesel, dan pengontrolan produksi panas dan daya. Optimisasi kerja destilasi dapat dilakukan dengan penggunaan *preflash column* atau *preflash drum* menurut Ericco et al (2009) dalam Wanders (2015) dengan alternatif tersebut dapat mengoptimasikan kerja dari unit destilasi sehingga meningkatkan efisiensi pada unit tersebut. Lalu yang kedua yaitu penggantian bahan bakar diesel dengan *biofuel/biodiesel* karena menurut Harsono (2015) alternatif tersebut efektif untuk mengurangi emisi CO₂ akibat dari bahan bakar dan memberikan performa yang baik terhadap mesin. Dan yang ketiga adalah proses pengontrolan produksi panas dan daya yaitu dengan memasang generator turbin gas dan *heat recovery steam generator (HRSG)* sehingga panas yang akan dibuang dapat diproduksi kembali dengan bantuan daya. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Worrel & Galitsky (2005), dengan alternatif tersebut pembuangan gas dapat terkontrol sehingga mengurangi tingkat pembuangan gas yang secara otomatis emisi yang terlepas akan berkurang.

Sedangkan alternatifnya lainnya tidak dipilih dengan pertimbangan untuk modifikasi unit pembakaran dengan modern control system jika diterapkan akan memakan biaya yang besar karena hubungannya dengan memodifikasi alat dan masih jarang diterapkan di Indonesia sehingga pemeliharaannya susah, sama halnya dengan alternatif *gasifikasi* menggunakan IGCC, lalu untuk alternatif *desulfurisasi oksidatif* tidak dipilih dengan pertimbangan

kebutuhan lahan yang tidak mencukupi jika harus dibuat unit tambahan disekitar unit ARHDM sedangkan integrasi unit CDU, *Vacuum*, dan *coker* dengan GTG tidak dipilih karena pada saat operasionalnya dibutuhkan tenaga ahli untuk mengendalikannya. Kemudian alternatif yang didapat dari hasil diskusi di atas dibuat kuisioner kembali untuk mengetahui prioritas alternatif dengan menggunakan metode AHP. Hasil menunjukkan bahwa responden memilih biaya investasi dan produksi sebagai kriteria paling penting dengan prosentase 60%. Hal ini dikarenakan biaya investasi dan produksi merupakan hal yang penting untuk dipertimbangkan dalam melakukan perubahan dalam proses produksi, yakni mencari alternatif terbaik guna mereduksi emisi. Dengan kriteria biaya investasi dan produksi alternatif *preflash coloumn* atau *drum* sebagai alternatif prioritas pertama, disusul dengan penggunaan bahan bakar *biodiesel* prioritas kedua dan *Cogeneration* ketiga. Sesuai dengan hasil analisis yang telah dilakukan pada proses sebelumnya yaitu aktivitas pembakaran pada CDU memberikan dampak yang besar terhadap *ozone depletion* sehingga dengan penggunaan *preflash coloumn* atau *drum* dapat mengurangi penggunaan energi panas sekitar 19% sehingga produksi emisi juga akan berkurang serta meningkatkan produksi destilasi tengah 30% menurut Ericco (2009).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Proses produksi industri minyak dan gas PT Pertamina Refinery Unit IV Balongan menghasilkan emisi CO₂ yang paling banyak dihasilkan yaitu untuk *Gasoline* (bensin) (81,89 ton CO₂/produk); *Gasoil* (solar) (81,17 ton CO₂/produk); Industrial *Fuel oil* (IDF) (86,46 ton CO₂/produk).
2. Berdasarkan analisis *Life cycle assessment* dihasilkan bahwa dampak paling besar yang terjadi dari proses produksi *gasoline*; *gasoil*; dan IDF adalah *ozone depletion* yang disebabkan oleh bahan bakar *heavy fuel oil*
3. Alternatif terpilih untuk meminimalisir dampak dari emisi dengan prioritas pertama yaitu penggunaan *preflash coloumn* atau *preflash drum* pada kolom destilasi, yang kedua yaitu bahan bakar *biodiesel* dan yang ketiga penggunaan *cogeneration (combined heat & power)*.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini dapat diberikan saran yang bermanfaat bagi penelitian selanjutnya berupa:

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai LCA terhadap limbah secara keseluruhan, misalnya selain limbah udara juga menganalisis limbah padat dan cair. Sehingga akan diperoleh LCA yang benar – benar detail dan representatif dari industri yang diteliti.
2. Alternatif-alternatif tersebut didapat dengan pertimbangan tidak hanya berdasarkan keefektifan mereduksi emisi, melainkan juga terhadap profit yang dihasilkan, dikarenakan profit merupakan salah satu tingkat kemakmuran suatu industri. Sehingga diharapkan alternatif ini dapat diterapkan secara berkelanjutan.
3. Melakukan penelitian lebih dalam mengenai efisiensi alternatif dan investasi biaya yang dapat disimpan terhadap alternatif yang dipilih

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Arsad Rahim. 2007. Kajian Pustaka Kebijakan Pencemaran Udara di Indonesia. Dinas Kesehatan Kabupaten Polewali Mandar. Sulawesi Barat.
- Ambarsari, Novita. 2010. *Kajian Pengaruh Uap Air Terhadap Perubahan Iklim*. Penelitian Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara, LAPAN. Berita Dirgantara Vol.11. No.3 September 93-98
- Arya W.W.,. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Yogyakarta
- Australian Government. 2008. *Energy Efficiency Opportunities: First Public Report Template*, BP Regional Australasia Holdings Pty Ltd.
- Bailey, O. & Worrell, E. 2005. *Clean Energy Technologies: A Preliminary Inventory of the Potential for Electricity Generation* Berkeley, CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Bergh, Caitlin. 2012. *Energy Efficiency in the South African Crude oil Refining Industry : Drivers, Barriers and opportunities*. MSc Sustainable Energy Engineering
- Bernstein, L., et. al. (2007). *IPCC Summary of policy makers. intergovernmental panel on climate change* .fourth assessment report
- Boedoyo, S.M. 2008. Penerapan Teknologi Untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. Jurnal Teknik Lingkungan vol.9 No .1 Hal 9-16. Jakarta
- Budianto, Wakhyono. 2008. *Analisis Hubungan Kualitas Udara Ambien dengan Kejadian Penyakit ISPA*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Bruijn, et al. 2002. *Handbook on Life cycle assessment*. Kluwer Acafemic Publisher: New York
- Errico, M., Tola, G., Mascia, M. (2009). *Energy saving in a crude distillation unit by a preflash implementation*. *Applied Thermal Engineering*, Volume 29, Pages 1642-1647
- Fandari, El Andariesta, Arief Daryanto, dan Gendut Suprayitno. 2014. *Pengembangan Energi Panas Bumi yang Berkelanjutan*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol.17 No.1. 68-82.

- Finnveden, et. al. (2009). *Recent developments in Life Cycle Assessment*. Journal of Environmental Management 91: 1-21
- Ghaziyyad, Virgasena Nabhan. 2015. *Analisis Efektivitas Arang Tempurung Kelapa dan Karbon Aktif dalam Mengadsorpsi Gas Karbondioksida (CO₂) yang Dihasilkan Oleh Lumpur Tinja dan Kotoran Sapi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Harjanto, Taufan Ratri, Moh Fahruurozi dan I Made Bendiyasa. 2014. *Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Jurnal Rekayasa Proses; Vol 6, No 2 (2012); 51-58
- Harsono, Budi dan Kiman Siregar. 2015. *Peningkatan Kinerja Mesin Diesel dengan Produksi Biodiesel dari Kelapa (Coconut Nufera) dan Unjuk Kinerjanya Berbasis Transesterifikasi dengan Sistem Injeksi Langsung*. Jurnal Rona Teknik Pertanian.
- Hermawan, et al. 2013. *Peran Life Cycle Analysis (LCA) Pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida Pada Efek Gas Rumah Kaca*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Kautzar, Galuh Zuhria, et al. 2015. *Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Kusminigrum, Nanny. 2008. *Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO₂ Dan CO Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global*. Jurnal Pemukiman Vol.3 No.2. Bandung.
- Laili, Nur. 2014. *Analisis dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit minyak bumi tenaga panas bumi dengan teknologi flash steam system*. Universitas Indonesia Library
- Makkasau, Kasman. 2012. *Penggunaan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Dalam Penentuan Prioritas Program Kesehatan (Studi Kasus Program Promosi Kesehatan)*. Universitas Diponegoro, Vol VII, No 2. Dinas Kesehatan Kota Ternate Provinsi Maluku Utara

- Menoufi, Karim Ali Ibrahim. 2011. *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies : A state of the art*. Universitat de Lleida
- Mulyana, Agung. 2017. *Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus : Konstruksi Jalan Cisumdawu*. Jurnal Teknik Sipil. FTSL ITB
- Noor, Ridwan Moch.2012. *Pembangkit Minyak bumi Tenaga Panas Bumi di Kamojang*. 1974-1996
- Nugraha, Aria. 2014. *Mekanisme kerja INDUSTRI MINYAK BUMI Geo Dipa Dieng*.
- Plomp, A.J., Kroon, P. (2010). *Raffinaderijen naar 2030*. ECN
- Peraturan Presiden Republik Indonesia.2010.*Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*.Jakarta
- Pre. 2014. *All About SimaPro 8*. <URL: <https://www.pre-sustainability.com/>>
- Putri, et al.2014.Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Susu KUD Batu dengan Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) dan Pendekatan Analytical Network Process (ANP).Universitas Brawijaya.Malang.
- Putri, Primanda Harmira. 2017. *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) EMISI PADA PROSES PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) JENIS BENSIN DENGAN PENDEKATAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Saaty, Thomas L.(1990). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Pers;
- Sabljić, Alexander.2009.*Environmental and Ecological Chemistry*.UNESCO.United Kingdom.
- Soemarno, dkk. 2013. Metode Life Cycle Analysis dan Kajian Lingkungan. PSDL-PDKL-PPSUB.
- Sugiarti. 2009. *Gas Pencemar udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia*. Jurnal Chemical. Vol. 10. No.1. 50-58.
- Suprihatin, dkk. 2007. *Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengomposan Sampah*. Jurnal Teknik Industri Pertanian. Vol.18(1). No. 53-59, Bogor
- Susila, I Made, dkk. 2014. *Jejak Karbon Pengembangan Pembangkit Minyak bumi Panas Bumi Indonesia*. Jurnal

Ketenagaminyak bumian dan Energi Terbarukan. Vol.13.
No 2 Desember 2014:123-138

Tetrisyanda, Rizky dkk. 2017.*Residue Oil Desulfirization Using Oxidation and Extraction Method*.Department of Chemical engineering ITS.

WMO. 2011. *Scientific assessment of ozone depletion: 2010, Global Ozone Research and Monitoring Project-report no.52*. World Meteorological Organization, Geneva

Worrell, E. & Galitsky, C. 2005. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries*. Lawrence Berkeley National Laboratory.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Jember pada tanggal 2 April 1996. Penulis memulai pendidikan formal di sekolah dasar pada tahun 2001-2007 di SDN Rambipuji 1. Dilanjutkan dengan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Rambipuji pada tahun 2008-2011 dan SMA Negeri 1 Jember pada tahun 2011-2014. Penulis melanjutkan pendidikan S1 di perguruan tinggi negeri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3314 100 041.

Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan pelatihan *soft skill* seperti LKM Pra TD 2014, LKMM TD 2015, dan *Leadership Organization Training*. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan, diantaranya menjabat secara struktural di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP ITS. . Berbagai pelatihan dan seminar di bidang Teknik Lingkungan juga diikuti untuk menunjang pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email erdhiyansa@gmail.com

LAMPIRAN I

KUISIONER PENENTUAN ALTERNATIF

Perkenalkan nama saya Erdhiyan Saputri, mahasiswi S1 Teknik Lingkungan ITS. Saat ini saya sedang melakukan penelitian mengenai Kajian Dampak Proses Pengolahan Minyak Bumi di PT. Pertamina RU IV Balongan Terhadap Lingkungan Dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan dari adanya kuisisioner ini untuk menganalisis dampak dari emisi yang keluar pada sektor produksi minyak bumi dengan hasil berupa alternatif untuk mereduksinya. Maka dari itu mohon bapak/ibu berkenan untuk mengisi.

Nama responden :
Jabatan responden :

Berikut merupakan alternatif pilihan yang saya rencanakan untuk unit-unit produksi yang memberikan dampak terhadap *global warming 100a*, *human toxicity*, dan *respiratory* selama proses produksi:

Tabel 1 Alternatif untuk mereduksi emisi

Alternatif	Cara kerja	Manfaat
Menggunakan preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	Drum pre-flash yang ditempatkan pada depan tungku destilasi atmosfer dengan waktu tinggal diperpanjang 16-20 menit untuk memisahkan gas dan cairan sebelum dipanaskan, sehingga dihasilkan light destilate (minyak sulingan yang ringan)	<ul style="list-style-type: none"> • Mengurangi komponen ringan dalam proses pemurnian • Mengurangi penggunaan energi panas sekitar 19% • Meningkatkan produksi destilasi tengah higga 30%

Menggunakan bahan bakar <i>biodiesel</i>	Mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan <i>biodiesel</i> , merupakan alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari berbagai jenis biji-bijian.	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mengurangi emisi karbon 120-170 kton pertahun. • Ramah lingkungan, pompa dapat bekerja dengan baik dengan pembakaran yang relatif bersih • Merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui <p>Membutuhkan biaya investasi tinggi namun <i>maintenance</i> panjang</p>
<i>Cogeneration (combined heat dan power)</i>	Memasang generator turbin gas (GTGs) dan <i>heat recovery steam generator</i> (HRSG) sehingga gas buang panas dari GTGs diolah dengan HRSG kemudian uap yang dihasilkan dapat digunakan lagi dalam proses digabung dengan daya	<ul style="list-style-type: none"> • Menghemat penggunaan listrik • Mengurangi pembuangan gas emisi • Biaya operasi lebih rendah

Responden diminta untuk memberikan skala prioritas terhadap perbandingan alternatif berikut dengan memberikan tanda lingkaran. Berikut contoh pemilihan prioritas yang dapat dilakukan oleh responden:

Alternatif	Prioritas																	Alternatif
Alternatif A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Alternatif B

Dalam Tabel pemilihan terdapat rentang angka 1 sampai 9 ke kiri dan ke kanan dimana memberikan arah prioritas. Ke arah kiri memberikan prioritas terhadap alternatif A dan ke arah kanan memberikan prioritas terhadap alternatif B. **Rentang angka pada penilaian prioritas, angka 1 merupakan skala prioritas paling rendah dan angka 9 merupakan skala prioritas paling tinggi.**

A. Prioritas Kriteria

Berdasarkan dari ketiga kriteria yaitu biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan mana yang menjadi prioritas responden untuk mendasari dalam pemilihan alternatif nantinya.

Alternatif	Prioritas																	Alternatif
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Dampak Lingkungan
Berdasarkan Biaya Investasi dan Produksi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan
Dampak Lingkungan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kemudahan Pelaksanaan

B. Berdasarkan biaya investasi dan produksi

Kriteria Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian mesin ataupun peralatan baru, penambahan tenaga kerja terkait biaya pelatihan. Biaya produksi merupakan biaya yang dikeluarkan untuk semua bahan langsung yang digunakan untuk operasional alternatif.

Alternatif	Prioritas																Alternatif	
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	bahan bakar <i>biodiesel</i>
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)
bahan bakar <i>biodiesel</i>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)

C. Berdasarkan dampak Lingkungan

Kriteria Dampak lingkungan merupakan seberapa besar pengaruh alternatif terhadap optimalisasi reduksi dampak yang dianalisa pada LCA.

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	bahan bakar <i>biodiesel</i>	
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)	
bahan bakar <i>biodiesel</i>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)	

D. Berdasarkan Kemudahan Pelaksanaan

Kriteria kemudahan dalam pelaksanaan merupakan tingkat kesulitan dalam operasional alternatif terbilang rendah.

Alternatif	Prioritas																		Alternatif
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	bahan bakar <i>biodiesel</i>	
preflash coloumn atau preflash drum pada kolom destilasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)	
bahan bakar <i>biodiesel</i>	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Cogeneration (combined heat dan power)	

Terimakasih